

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. Б. А. Казанский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

27-й ГОД ИЗДАНИЯ

1959

ТОМ 125, № 6

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Стр.

М. М. Альперин. Об одном новом способе линеаризации гамильтониана свободной частицы	1183
Ф. А. Березин. Аналог теоремы Лиувилля для симметрических пространств с отрицательной кривизной	1187
К. Х. Даукер. О теореме вырезания	1190
Н. М. Коробов. О частично рациональных тригонометрических суммах	1193
М. А. Наймарк. О разложении на неприводимые представления тензорного произведения, представления основной серии и представления дополнительной серии собственной группы Лоренца	1196
Я. Синай. О потоках с конечной энтропией	1200
С. Н. Шиманов. О почти периодических колебаниях в нелинейных системах с запаздыванием	1203
Н. Н. Яненко. Об одном разностном методе счета многомерного уравнения теплопроводности	1207

ГИДРОМЕХАНИКА

С. В. Иорданский. Об асимптотике осесимметричной расходящейся волны в тяжелой жидкости	1211
--	------

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

И. С. Аржаных. О дифференциальных уравнениях движения мезонного заряда	1215
--	------

ФИЗИКА

Г. Я. Васильев, А. Ф. Усатый, Ю. С. Лазуркин и А. А. Марков. Измерение люминесценции и потемнения стекол в процессе их облучения в ядерном реакторе	1219
К. С. Вульфсон. Применение электроннооптических преобразователей для точного измерения скорости распространения света	1223
Я. И. Грановский. О свойствах К-мезона	1225
Ю. А. Изюмов. Замечание относительно формализма Гольштейна и Примакова	1227
Л. М. Лямшев. К вопросу о принципе взаимности в акустике	1231

В. П. Цветков. Исследование зависимости коэффициента структурной диффузии от температуры	1235
Чэнь Чунь-сянь. Метод учета корреляции в системе многих частиц	1238

ГЕОФИЗИКА

В. М. Бовшеверов, А. С. Гурвич и Л. Р. Цванг. Прямые измерения турбулентного потока тепла в приземном слое атмосферы	1242
А. М. Обухов. О влиянии архимедовых сил на структуру температурного поля в турбулентном потоке	1246
К. Ф. Тяпкин. Интерпретация гравитационных аномалий, обусловленных конечными цилиндрическими телами	1249

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. Гутман. Применение асимптотического интегрирования волнового уравнения к решению некоторых волноводных и резонаторных задач	1252
--	------

ХИМИЯ

Р. В. Визгерт, Е. К. Савчук и М. П. Пономарчук. Исследование механизма гидролиза нитрозамещенных арилсульфонатов с помощью O^{18}	1257
М. И. Кабачник, Е. Н. Цветков и Чжан Жун-юй. Метод синтеза кислых эфиров фосфинистых кислот	1260
М. М. Котон, Т. М. Киселева и В. А. Парибок. Синтез полимеризующихся метакрилатов триалкил(арил)олова	1263
А. Н. Несмеянов, О. А. Реутов, Т. П. Толстая, О. А. Птицына, Л. С. Исаева, М. Ф. Турчинский и Г. П. Бочкарева. Металлоорганические соединения из двойных солей галоидных металлов и галогенониев	1265
Е. С. Покровская и М. В. Шишкина. О некоторых алкилциклопентилбензолах	1269
Е. А. Тимофеева, Н. И. Шуйкин, Ю. Н. Плотников и В. М. Клейменова. Дегидрогенизация <i>n</i> -гексана на алюмохромовом катализаторе	1269
А. В. Топчиев, Н. Э. Цытович и Е. С. Покровский. Синтез и свойства алкилинданов с заместителем в пятичленном кольце	1272

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. Г. Ганиченко, В. Ф. Киселев и К. Г. Красильников. Влияние гидратации поверхности кремнезема на адсорбцию алифатических спиртов из растворов	1275
А. И. Горбанев, Ю. М. Кесслер, Ю. М. Поваров и Э. С. Севостьянов. Некоторые закономерности свойств растворов сильных электролитов	1277
А. И. Красильников, Л. М. Волчкова, И. К. Бурцева и В. Д. Плясунов. О механизме межкристаллитной коррозии нержавеющей стали в азотной кислоте	1281
Е. Н. Миролюбов, М. М. Куртепов и Н. Д. Томашов. О некоторых особенностях катодного процесса на нержавеющей стали в растворах азотной кислоты	1285
М. А. Ривин, Я. Б. Зельдович, В. А. Цукерман, В. В. Софьина и А. С. Береговский. Исследование распределения плотности во фронте детонации газовых смесей рентгенографическим методом	1288
М. В. Савостьянова и Л. Г. Мацинова. Коллоидное состояние красителей и метакромазия	1292
В. Н. Шубин и П. И. Долин. Окислительные свойства атомарного водорода при радиационном окислении ионов двухвалентного железа	1294
В. М. Юрьев, А. Н. Праведников и С. С. Медведев. Влияние продуктов окисления на кинетику окисления цетана	1298

ГЕОЛОГИЯ

Б. П. Бархатов, А. Д. Миклухо-Маклай, Е. Ф. Романько и Э. З. Таиров. Новые данные о пермских отложениях Северного Памира	1303
А. Б. Вистелиус. К вопросу о происхождении красноцветной толщи п-о. Челекен. Опыт использования абсолютного возраста обломочных минералов для решения задач литологии и палеогеографии	1307
М. М. Грачевский. Особенности строения и формирования Камско-Кинельской впадины в Куйбышевском Заволжье и Татарии	1311
М. А. Карасик. О связи между размерами рудных полей и главнейшими их геохимическими особенностями	1315
Н. А. Крылов, А. И. Летавин и Я. П. Маловицкий. О геологическом развитии Предкавказья и южной окраины Русской платформы	1319
О. А. Липина, О. М. Мкртчян и Р. О. Хачатрян. Кизеловский горизонт юго-западной части Бирской седловины	1323

В. М. Синицын. Монголо-сибирский антициклон и региональная зональность эоловых отложений Центральной Азии	1326
К. А. Шуркин. О палеозойских псевдоконгломератах Северной Карелии и Кольского полуострова	1329

ПЕТРОГРАФИЯ

Л. И. Горбунова. Минералогический состав глин нижнемеловых отложений Северо-Восточного Кавказа	1334
Н. Н. Мартынов. К происхождению овальных форм гранитных пегматитов	1337
А. М. Пап. Основные породы кристаллического фундамента Белорусско-Литовского массива	1341

ГЕОХИМИЯ

Х. И. Амирханов, С. Д. Брандт и Е. Н. Бартницкий. Диффузия радиогенного аргона в полевых шпатах	1345
---	------

ГИСТОЛОГИЯ

Е. А. Бабурин и Н. Д. Ковалева. Строение 'сетчатки глаз' каспийских килек	1349
---	------

ГЕНЕТИКА

С. И. Алиханян и В. Г. Жданов. Влияние комбинированного воздействия физических и химических мутагенов на мутации в полигенных системах микроорганизмов (продуцента эритромицина <i>Actinomyces erythreus</i>)	1353
--	------

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Г. И. Горячева. О своеобразном альгологическом типе равнинной реки	1356
--	------

БИОХИМИЯ

М. Н. Запроматов. О способности к расщеплению бензольного кольца у высших растений. Глубокое окисление C^{14} -катехинов в побегах чая	1359
--	------

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. Г. Карпов. Конкуренция за питательные вещества и возобновительные процессы в насаждениях степной зоны	1363
--	------

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

К. Д. Стоев, П. Т. Мамаров и И. Б. Бенчев. Влияние удобрений на состав входящего тока виноградной лозы	1367
И. А. Шульгин и А. Ф. Клешнин. О корреляции между оптическими свойствами и содержанием хлорофилла в листьях растений	1371

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ

Н. И. Драгомиров. Развитие системы нейроэпителиальных фолликулов у личинок аральского шипа <i>Acipenser nudiiventris</i> Lov.	1374
---	------

ФИЗИОЛОГИЯ

К. М. Куланда. Анализ биоэлектрических потенциалов, возникающих в коре мозжечка при стимуляции некоторых афферентных нервов	1378
---	------

ЭМБРИОЛОГИЯ

Г. А. Бузников. О функциональном значении гиалуронидазы в икре костистых рыб	1382
--	------

ПАЗИТОЛОГИЯ

Т. А. Беднякова и В. Н. Верейская. Анализ термического обеззараживания яиц в изолированных кладках бабочек тутового шелкопряда (<i>Bombyx mori</i> L.), зараженных пембриной (<i>Nosema bombycis</i> Naeg.)	1386
Е. Д. Логачев. О строении и тканевой природе кутикулярных покровов цистидерков	1390

Указатель статей к тому 125:

Систематический	I—XI
Алфавитный	XII—XV

CONTENTS

MATHEMATICS

	Page
M. M. Al'perin. A new method for the linearization of the hamiltonian of a free particle	118
F. A. Berezin. Liouville's theorem analogue for symmetric spaces of negative curvature	118
C. H. Dowker. On the excision theorem	119
N. M. Korobov. On partially rational trigonometric sums	119
M. A. Naimark. On the decomposition into irreducible representations of the tensor product of a representation of the principal series and a representation of the complementary series of the Lorentz group	119
Ia. Sinai. Flows with finite entropy	120
S. N. Shimanov. Almost periodical oscillations in non-linear systems with retardation	120
N. N. Yanenko. A difference method of solution in the case of multidimensional thermal conductivity equation	120

FLUID MECHANICS

S. V. Iordanskiĭ. The asymptotic form of an expanding axially symmetrical wave in a ponderable fluid	121
--	-----

MATHEMATICAL PHYSICS

I. S. Arghanykh. Differential equations of meson charge motion	121
--	-----

PHYSICS

G. Ia. Vasil'ev, A. F. Usatyĭ, Iu. S. Lazurkin and A. A. Markov. Measurement of luminescence and darkening of glass when irradiated in a nuclear reactor	121
K. S. Vul'fson. Use of electron-optical converters for accurate measurement of light velocity	122
Ia. I. Granovskiĭ. On properties of K-mesons	122
Iu. A. Iziumov. A remark on Golstein and Primakov's formalism	122
L. M. Liamshev. On the reciprocity principle in acoustics	123
V. P. Tsvetkov. Investigation of the dependence of the structural diffusion coefficient on temperature	123
Chen Chun-sian. A method of allowance for correlation in a system of many particles	123

GEOPHYSICS

V. M. Bovsheverov, A. S. Gurvich and L. R. Tsvang. Straight measuring of a turbulent heat flow in the bottom layer of the atmosphere	124
A. M. Obukhov. The influence of Archimedes forces on the structure of the temperature field in a turbulent flow	124
K. F. Tiapkin. Interpretation of gravitational anomalies due to finite cylinder bodies	124

TECHNICAL PHYSICS

A. Gutman. The application of the asymptotic integration of the wave equation to the solution of some waveguide and resonator problems	125
--	-----

CHEMISTRY

R. V. Vizgert, E. K. Savchuk and M. P. Ponomarchuk. Use of O ¹⁸ in studying the mechanism of the hydrolysis of nitrosubstituted arylsulphonates	125
M. I. Kabachnik, E. N. Tsvetkov and Chan-Zhun-ui. A method of synthesizing acid esters of phosphinous acids	126
M. M. Koton, T. M. Kiseleva and V. A. Paribok. The synthesis of polymerizing methacrylic esters of trialkyl (aryl) tin	126
A. N. Nesmeyanov, O. A. Reutov, T. P. Tolstaya, O. A. Ptitsyna, L. S. Isaeva, M. F. Turchinskiĭ and G. P. Bochkareva. Organometallic compounds made up of double salts of halogen metals and halogenoniums	126
E. S. Pokrovskaya and M. V. Shishkina. On some alkylcyclopentylbenzenes	126
E. A. Timofeeva, N. I. Shuikin, Iu. N. Plotnikov and V. M. Kleimenova. The dehydrogenation of normal hexane on an aluminium-chromium catalyst	127
A. V. Topchiev, N. E. Tsytoich and E. S. Pokrovskaya. Synthesis and properties of alkylindanes with a substituent in the five-member ring	127

PHYSICAL CHEMISTRY

	Pages
L. G. Ganichenko, V. F. Kiselev and K. G. Krasilnikov. The effect of silica surface hydration on the adsorption of aliphatic alcohols from solutions	1277
A. I. Gorbanev, Iu. M. Kessler, Iu. M. Povarov and E. S. Sevostianov. Some regularities in the properties of strong electrolyte solutions	1281
A. I. Krasil'shchikov, L. M. Volchkova, I. K. Burtseva and V. D. Pliasunov. Mechanism of intercrystalline corrosion of stainless steel in nitric acid	1285
E. N. Mirolubov, M. M. Kurtepov and N. D. Tomashov. Some features of the cathode process on spotless steel in nitric acid solutions	1288
M. A. Rivin, Ia. B. Zel'dovich, V. A. Zukerman, V. V. Sof'ina and A. S. Beregovskii. An X-ray study of density distribution along the detonation front of gas mixtures	1292
M. V. Savostianova and L. G. Matsinova. Colloidal condition of dyes and metachromatic properties	1294
V. N. Shubin and P. I. Dolin. Oxidizing properties of atomic hydrogen in the radiation oxidation of ferrous ions	1298
V. M. Iuriev, A. N. Pravednikov and S. S. Medvedev. Effects of the oxidation products on the kinetics of cetane oxidation	1301

GEOLOGY

B. P. Barkhatov, A. D. Mielukho-Maclay, E. F. Romanko and E. Z. Tairov. Recent data concerning Permian deposits of the North Pamirs	1303
A. B. Vistelius. On the origin of the Cheleken peninsula red beds. Use of the absolute age of clastic minerals in solving lithological and paleogeographic problems	1307
M. M. Grachevskii. Particular traits in the structure and formation of the Camakinel depression within the Kuibyshev Trans-Volga region and Tataria	1311
M. A. Karasik. On the relation between the dimensions of ore deposits and their main geochemical features	1315
N. A. Krylov, A. I. Letavin and Ia. P. Malovitzkii. On the geological development of cis-Caucasus and the Southern borderline of the Russian platform	1319
O. A. Lipina, O. M. Mkrtchian and R. O. Khachatryan. The Kizelov horizon of the south-western part of the Birs saddle	1323
V. M. Sinitzyn. The mongolian-siberian anticyclone and the regional zonality of eolian deposits of Central Asia	1326
K. A. Shurkin. On the paleozoic pseudoconglomerates of North Karelia and the Cola peninsula	1329

PETROGRAPHY

L. I. Gorbunova. The mineralogical composition of the clays of Lower Cretaceous deposits of the North-East Caucasus	1333
N. N. Martianov. On the origin of the oval shape of granitic pegmatites	1337
A. M. Pap. Basic rocks of the crystalline basement of the Belorussian-Lithuanian massif	1341

GEOCHEMISTRY

Ch. I. Amirkhanov, S. B. Brandt and E. N. Bartnitzkii. The diffusion of radioactive argon in feldspars	1345
--	------

HISTOLOGY

E. A. Baburina and N. D. Kovaleva. The structure of the eye retina in Caspian Clupeonellae	1349
--	------

GENETICS

S. I. Alikhanian and V. G. Zhdanov. The effect of combined application of physical and chemical mutagenic agents upon mutations in polygenic systems of microorganisms (Actinomyces erythreus, the producer of erythromycin)	1353
--	------

HYDROBIOLOGY

G. I. Goriacheva. On the peculiar algological type of a plain river	1356
---	------

BIOCHEMISTRY

M. N. Zaprometov. On the ability to split the benzene ring in higher plants. Profound oxidation of C ¹⁴ -catechins in sprouts of tea-plants	1359
	1181

- V. G. Karpov. Competition for nutrient substances and regeneration processes in the plantations of the steppe-zone 1363

PLANT PHYSIOLOGY

- K. D. Stoev, P. T. Mamarov and I. B. Benchev. The effect of fertilizers upon the composition of ascending current in the vine 1367
I. A. Shul'gin and A. F. Kleshnin. On the correlation between the optic properties and the chlorophyll content in plant leaves 1371

EVOLUTIONAL MORPHOLOGY

- N. I. Dragomirov. The development of the system of neuro-epithelium follicles in larvae of the Aralian *Acipenser nudiventris* Lov. 1374

PHYSIOLOGY

- K. M. Kullanda. An analysis of the bioelectric potentials arising in the cerebellum cortex in the case of stimulation of certain afferent nerves 1378

EMBRYOLOGY

- G. A. Buznikov. On the functional rôle of hyaluronidase in the eggs of Teleostei 1382

PARASITOLOGY

- T. A. Bedniakova and V. N. Vereiskaia. An analysis of thermic disinfection of eggs in isolated batches of *Bombyx mori* L., infected with *Nosema bombycis* Naeg 1386
E. D. Logachev. On the structure and tissue nature of cuticular integuments in *Cysticerci* 1390

ПОПРАВКА

В мою статью, опубликованную в ДАН, т. 121, № 6, 1958 г. (Г. С. Макаева, «Асимптотическое поведение решений с малым параметром, системы «быстрых движений» которых близки к гамильтоновым»), необходимо внести следующие исправления:

На стр. 974, строка 24 и строка 6 снизу напечатано $o(\epsilon)$, следует читать $O(\epsilon)$.

На стр. 975, строки 1 и 2 следует читать: где $x^*(\varphi, h, z_1, \dots, z_l)$ и $y^*(\varphi, h, z_1, \dots, z_l)$ являются периодическими по φ с периодом 1, причем

На стр. 975, строка 2 снизу напечатано $(o(\epsilon) > 1, o(1) > 0)$, следует читать $(O(\epsilon) > 1, O(1) > 0)$.

На стр. 976, строка 16 напечатано u^{n-s} , следует читать u^{n-3} .

Г. С. Макаева

214

М. М. АЛЬПЕРИН

ОБ ОДНОМ НОВОМ СПОСОБЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ГАМИЛЬТониАНА СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 I 1959)

В работе ⁽¹⁾ М. С. Лившиц показал, что энергию свободной релятивистской частицы можно рассматривать как собственное число эрмитовой матрицы H_p

$$H_p = cpJ_0 + H', \quad (1)$$

где

$$J_0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}; \quad H' = mc^2 \begin{vmatrix} 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}, \quad (2)$$

При этом, в отличие от уравнения Дирака, для $p > 0$ оператор H_p имеет единственное собственное число $E_p = \sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}$, а для $p < 0$ — единственное собственное число $E_p = -\sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}$. Собственный вектор f оператора H_p , соответствующий собственному числу E_p ($p > 0$), имеет вид

$$f_0 = 1; \quad f_n = \sqrt{2} \left(\frac{E_p - cp}{mc^2} \right)^n, \quad n \geq 1. \quad (3)$$

В работе ⁽¹⁾ также показано, что с точностью до унитарной эквивалентности оператор H_p является единственным оператором, обладающим описанными выше свойствами. Далее, из ⁽¹⁾ следует, что спектр матрицы массы покоя H' непрерывен и заполняет интервал $(-mc^2, +mc^2)$. Поскольку выражения (1) и (2) представляют собою новый вид линеаризации гамильтониана свободной частицы в пространстве импульсов физическая интерпретация результатов, полученных в ⁽¹⁾, представляет интерес. Ниже приводится такая интерпретация. С этой целью удобно рассмотреть выражение (1) с точки зрения теории возмущений. Если $p \gg mc$, то оператор H' можно считать малым возмущением. Невозмущенный гамильтониан определяется теперь только импульсным членом, имеющим вид

$$cpJ_0 = \begin{vmatrix} cp & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}, \quad (4)$$

Мы можем трактовать гамильтониан невозмущенной задачи как гамильтониан системы, имеющей два уровня: синглетный уровень с энергией $E_0 = cp$ и бесконечнократно вырожденный уровень с энергией $E' = 0$.

Возмущение, вводимое матрицей массы покоя H' , должно привести к следующему изменению структуры спектра:

1. Уровень $E_0 = cp$ перейдет в $E_p = \sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}$.
2. Бесконечнократно вырожденный уровень $E' = 0$ перейдет в непрерывную полосу ($-mc^2 \leq E \leq mc^2$).

Утверждение 1 нетрудно проверить непосредственным подсчетом. Для этого разложим E_p в ряд по степеням mc^2

$$E_p = cp + \sum_{k=1}^{\infty} E_{2k}, \quad (5)$$

где $E_2 = \frac{1}{2} \frac{(mc^2)^2}{cp}$, $E_4 = -\frac{1}{8} \frac{(mc^2)^4}{(cp)^3}$ и т. д.

С другой стороны, из 2 видно, что $E_2 = \frac{|H'_{01}|^2}{E_0 - E}$, $E_4 = \frac{|H'_{01}|^2 |H'_{12}|^2 - |H_{01}|^4}{(E_0 - E')^3}$ и т. д.

Таким образом, выражение (5) действительно является рядом теории возмущений. Энергия частицы с отличной от нуля массой рассматривается здесь как возмущенная энергия частицы с нулевой массой, и масса играет роль параметра возмущения. Можно истолковать приведенную выше схему теории возмущений в рамках квантовой теории поля. А именно, можно рассматривать состояния невозмущенной системы как различные состояния некоторого поля частиц и античастиц, причем невырожденное состояние с энергией $E_0 = cp$ отвечает одной частице с нулевой массой покоя, а вырожденные состояния — наличию любого числа пар частиц — античастиц. Импульс и энергия каждой пары равны нулю, и бесконечная кратность вырождения объясняется возможностью наличия любого числа пар (эти пары образуют «вакуум» поля). Если пренебречь возмущением, то каждое такое состояние будет стационарным. Состояние реальной системы может быть разложено по состояниям невозмущенной системы.

Обозначим собственную функцию реальной системы через ψ , а собственные функции невозмущенной системы через ψ_n . Тогда

$$\psi = \varphi_0 \psi_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n \psi_n.$$

Здесь индекс 0 относится к одной частице, а индекс $n \geq 1$ соответствует наличию n пар. Коэффициенты φ_n образуют вектор состояния реальной системы. Матричные элементы $|H'|_{n,n+1}$ соответствуют процессам аннигиляции и рождения пар.

Введем далее для обозначения частицы символ A и античастицы символ \bar{A} . Реальное стационарное состояние, характеризуемое вектором φ , следует представлять как состояние динамического равновесия, обусловленного реакциями

$$A + (A + \bar{A}) \rightleftharpoons A. \quad (6)$$

В прямой реакции (6) частица A аннигилирует с античастицей пары. Обратная реакция является распадом частицы на частицу и пару. Эти реакции осуществляются с помощью другого поля, например электромагнитного, которое явно в наших рассуждениях не фигурирует. Кроме реакции (6) имеют место реакции

$$n(A + \bar{A}) \rightleftharpoons (n+1)(A + \bar{A}). \quad (7)$$

Запишем теперь уравнение Шредингера для вектора φ

$$ih \frac{\partial \varphi}{\partial t} = H_p \varphi,$$

или, в развернутом виде:

$$ih \frac{\partial \varphi_0}{\partial t} = cp \varphi_0 + \frac{mc^2}{\sqrt{2}} \varphi_1, \quad ih \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \frac{mc^2}{\sqrt{2}} \varphi_0 + \frac{mc^2}{2} \varphi_2, \quad (8)$$

$$ih \frac{\partial \varphi_n}{\partial t} = \frac{mc^2}{2} (\varphi_{n-1} + \varphi_{n+1}), \quad n \geq 2.$$

Система уравнений (8) сопоставима с реакциями (6) и (7). Первое уравнение системы (8) описывает реакцию (6), а реакциям (7) отвечают уравнения системы с $n \geq 2$.

Приведем другое выражение для энергии, которое подтверждает соображения, высказанные выше. В стационарном состоянии можно положить $\varphi_n = f_n e^{-iE_p t/\hbar}$, и система (8) дает

$$E_p f_0 = cp f_0 + \frac{mc^2}{\sqrt{2}} f_1, \quad E_p f_1 = \frac{mc^2}{\sqrt{2}} f_0 + \frac{mc^2}{2} f_2, \\ E_p f_n = \frac{mc^2}{2} (f_{n-1} + f_{n+1}), \quad n \geq 2. \quad (9)$$

Нетрудно показать, что при $E_p = \sqrt{(cp)^2 + (mc^2)^2}$ из (9) следуют соотношения

$$cp f_0 = E_p f_0 - \frac{mc^2}{\sqrt{2}} f_1, \quad cp f_1 = \frac{mc^2}{\sqrt{2}} f_0 - \frac{mc^2}{2} f_2, \\ cp f_n = \frac{mc^2}{2} (f_{n-1} - f_{n+1}), \quad n \geq 2. \quad (10)$$

Из (10) легко находим

$$cp \sum_{n=1}^{\infty} f_n^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{2}} f_0 f_1, \quad cp \sum_{k=l}^{\infty} f_k^2 = \frac{mc^2}{2} f_{l-1} f_l, \quad l = 2, 3, \dots \quad (11)$$

Суммируя равенства (11), приходим к соотношению

$$2cp \sum_{n=1}^{\infty} n f_n^2 = mc^2 \sqrt{2} f_0 f_1 + mc^2 \sum_{n=1}^{\infty} f_n f_{n+1}. \quad (12)$$

Из (11) следует, что среднее значение массы (вектор f нормирован к единице) равно

$$\overline{mc^2} = (f, H' f) = 2cp \sum_{n=1}^{\infty} n f_n^2.$$

Полная энергия равна

$$E = \overline{cp} + \overline{mc^2} = cp f_0^2 + 2cp \sum_{n=1}^{\infty} n f_n^2. \quad (13)$$

Выражение (13) свидетельствует о том, что «массовая часть» энергии обусловлена аннигиляцией пар и группа из n пар дает вклад $2cnp$ с вероятностью f_n^2 . Можно представить себе, что массовая безимпульсная часть энергии образована парами квантов, возникающих при аннигиляции. В состоянии равновесия среднее число пар частиц равно среднему числу пар квантов. Для среднего числа пар мы находим с помощью (3)* выражение

$$\bar{n} = \sum n f_n^2 = \frac{(mc^2)^2}{2Ecp}.$$

* Для нормировки f к единице нужно в (3) ввести множитель $\sqrt{2csp/E_p}$.

С ростом импульса среднее число пар стремится к нулю, т. е. энергия обусловлена только импульсным членом, и рассматриваемая частица ведет себя как частица с нулевой массой покоя. Остановимся также на интерпретации сплошного спектра матрицы массы покоя. Для этого введем вместо вектора f новый вектор f' (f^+ , f^-), определяемый соотношениями

$$f_0^+ = \frac{f_0}{\sqrt{2}} + \frac{f_1}{2}, \quad f_0^- = \frac{f_0}{\sqrt{2}} - \frac{f_1}{2}, \quad f_n^\pm = \frac{1}{2} (f_n \pm f_{n+1}), \quad n \geq 1. \quad (14)$$

Из (14) вытекают соотношения:

$$\sum_{n=0}^{\infty} f_n^2 = \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^+)^2 + \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^-)^2, \quad \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^+)^2 - \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^-)^2 = \sqrt{2} f_0 f_1 + \sum_{n=1}^{\infty} f_n f_{n+1}. \quad (15)$$

Введем также для непрерывного спектра матрицы H' параметр ϑ , определяемый соотношением:

$$\cos \vartheta = \frac{E}{mc^2} \quad (0 \leq \vartheta \leq \pi). \quad (16)$$

При рассмотрении сплошного спектра мы будем предполагать, что проинтегрирование по узкому интервалу параметра ϑ , так что

$f_n \rightarrow \int_{\vartheta}^{+\Delta\vartheta} f_n(\vartheta) d\vartheta$. В этом случае вектор f имеет конечную норму. Из соотношений (9) при $p = 0$ и (14) — (16) следует

$$\cos \vartheta = \frac{(\overline{n^+}) - (\overline{n^-})}{(\overline{n^+}) + (\overline{n^-})} \quad (0 \leq \vartheta \leq \pi), \quad (17)$$

где

$$(\overline{n^+}) = \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^+)^2, \quad (\overline{n^-}) = \sum_{n=0}^{\infty} (f_n^-)^2. \quad (18)$$

Мы будем интерпретировать $(\overline{n^+})$ как среднее число частиц, а $(\overline{n^-})$ — как среднее число античастиц. Величину $(f_n^+)^2$ можно интерпретировать как вероятность появления одной частицы вследствие аннигиляции n частиц группы, состоящей из $n+1$ пар, и n античастиц группы, состоящей из n пар. Величина $(f_n^-)^2$ интерпретируется как вероятность появления одной античастицы вследствие аналогичного процесса. Из (17) следует, что $\cos \vartheta$ есть средний заряд в условных единицах, приходящийся на одну частицу. Если $(\overline{n^+}) = (\overline{n^-})$, то $\vartheta = \pi/2$ и $E = 0$. Это состояние, характеризующееся нулевым значением среднего заряда и энергии, естественно назвать вакуумом частиц. Крайние точки спектра характеризуются значениями $\vartheta = 0$ и $\vartheta = \pi$, $|E| = mc^2$ и единичным средним зарядом. Можно сделать вывод, что крайние точки спектра соответствуют возбуждению одной частицы (античастицы). Промежуточные же точки спектра, для которых $0 < \vartheta < \pi$, $|E| < mc^2$, $(\overline{n^+}) \neq 0$, $(\overline{n^-}) \neq 0$, описывают такие состояния поля, в которых еще не «выделилась» частица либо античастица.

В настоящей работе показано, что поведение частицы с отличной от нуля массой покоя можно рассматривать как результат взаимодействия частицы нулевой массы с полем вакуумных пар; масса при этом играет роль константы взаимодействия. Укажем, наконец, что изложенные выше соображения следует обобщить на случай многих частиц, используя аппарат квантовой теории поля.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность М. С. Лившицу за интересные дискуссии.

Одесский государственный педагогический институт
им. К. Д. Ушинского

Поступило
8 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. С. Л и в ш и ц, ДАН, 97, №№ 3 и 4 (1954).

Ф. А. БЕРЕЗИН

АНАЛОГ ТЕОРЕМЫ ЛИУВИЛЛЯ ДЛЯ СИММЕТРИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ

(Представлено академиком П. С. Александровым 9 I 1959)

Пусть G — полупростая (вещественная или комплексная) группа Ли; $K \subset G$ — ее максимальная компактная подгруппа. Через $E = G/K$ обозначим соответствующее симметрическое пространство. Известно ⁽¹⁾, что на E существует кольцо дифференциальных операторов, так называемых операторов Лапласа на E , перестановочных с операторами Ли на E . Это кольцо имеет столько образующих, каков ранг E .

Если к оператору Лапласа прибавить оператор умножения на константу, то мы получим опять оператор Лапласа. Поэтому мы можем выбрать образующие $\Delta_2, \dots, \Delta_k$ в кольце операторов Лапласа так, чтобы константа a удовлетворяла всем уравнениям $\Delta_k a = 0$.

Среди операторов Лапласа особую роль играет оператор Лапласа — Бельтрами Δ_2 . Функцию u , удовлетворяющую уравнению $\Delta_2 u = 0$, мы будем называть гармонической; функцию u , удовлетворяющую уравнению $\Delta_k u = 0$, где Δ_k — любой оператор из системы образующих, мы будем называть полигармонической.

Целью настоящей заметки является доказательство следующей теоремы:

Теорема. *Всякая ограниченная гармоническая функция на E является полигармонической.*

Отметим сразу, что для функций, не являющихся гармоническими, но удовлетворяющих уравнению $\Delta_2 u = \lambda u$, $\lambda \neq 0$, никакая аналогичная теорема не верна. С другой стороны, для гармонических функций на компактном симметрическом пространстве такая теорема верна тривиальным образом в силу теоремы Лиувилля ⁽²⁾.

Доказательство теоремы. Пусть $f(x)$ — некоторая функция; $x_0 \in E$ — некоторая точка; K_{x_0} — группа всех преобразований, оставляющих точку x_0 неподвижной. Рассмотрим $\int_{K_{x_0}} f(kx) d\mu_k$ (среднее по групповой сфере с центром в x_0). Из работы ⁽³⁾ следует, что, если среднее от функции $f(x)$ по любой групповой сфере равно значению $f(x)$ в центре этой сферы, то функция $f(x)$ является полигармонической.

Пусть теперь $f(x)$ — ограниченная гармоническая функция, $f_1(x) = \int_{K_{x_0}} f(kx) d\mu_k$; $f_1(x)$ — гармоническая функция, постоянная на сферах с центром в x_0 . Следовательно, она удовлетворяет уравнению

$$\Delta_2^0 f_1 = 0,$$

где Δ_2^0 — радиальная часть оператора Δ_2 ⁽⁴⁾. Итак, теорема сводится к обычной теореме Лиувилля для оператора Δ_2^0 . Известно, что функция, постоянная на сферах, есть фактически функция на евклидовом n -мерном

пространстве R^n (n —ранг пространства E), инвариантная относительно некоторой конечной группы линейных преобразований W . Координаты в R^n будем обозначать через t_1, \dots, t_n , функцию $f_1(x)$ будем записывать в виде $f(t)$. Фундаментальная область относительно W есть выпуклый многогранный угол, который мы обозначим через Φ . Пространство R^n естественным образом отождествляется с некоторой коммутативной подалгеброй H алгебры \mathfrak{G} группы G . Оператор $\overset{0}{\Delta}_2$ является самосопряженным по мере $|j(t)| dt_1 \dots dt_n$, где $j(t) = \prod_{\alpha > 0} \text{sh} \frac{(\alpha, t)}{2}$, $\alpha > 0$ — положительный в смысле лексикографического упорядочения корень алгебры H , каждый корень встречается столько раз, какова его кратность. Используя результаты работы (4) и явный вид оператора $\overset{0}{\Delta}_2$, который вычисляется так же, как аналогичный оператор в (4), легко показать, что собственные значения оператора $\overset{0}{\Delta}_2$ имеют вид

$$(\lambda, \lambda) + (\rho, \rho), \quad (1)$$

где λ — вектор в пространстве $R^n + iR^n$, определяющий представление, и $\rho = \frac{1}{2} \sum_{\alpha > 0} \alpha$. Скалярное произведение в формуле (1) — кэртановское.

Будем далее рассматривать функцию $f(t)$ как функционал на множестве суммируемых функций на E :

$$(f, x) = \int f(t) x(t) |j(t)| dt, \quad \int |x(t)| |j(t)| dt < \infty.$$

Обозначим через $\tilde{x}(\lambda)$ преобразование Фурье функции $x(t)$:

$$\tilde{x}(\lambda) = \int \varphi(\lambda, t) x(t) |j(t)| dt, \quad (2)$$

где $\varphi(\lambda, t)$ — зональная сферическая функция.

Функция $\tilde{x}(\lambda)$ является аналитической функцией в некоторой области n комплексных переменных $\lambda_1, \dots, \lambda_n$. Чтобы найти эту область, рассмотрим асимптотическое выражение для $\varphi(\lambda, t)$ при больших $|t| = V(t, t)$ (t считаем лежащим внутри фиксированного фундаментального многогранного угла Φ)

$$\varphi(\lambda, t) \sim C(\lambda) e^{i(\lambda, t) - (\rho, t)}, \quad (3)$$

где $\rho = \frac{1}{2} \sum_{\alpha > 0} \alpha$.

Выражение (3) легко получить из интегрального представления для $\varphi(\lambda, t)$ или из дифференциальных уравнений (см., например, (5)).

Подставляя (3) в (2), получаем, что $\tilde{x}(\lambda)$ определен для $\lambda = \sigma + i\tau$, мнимая часть которых удовлетворяет неравенству

$$g(t) = (\tau, t) - (\rho, t) \leq 0 \quad \text{при всех } t \in \Phi. \quad (4)$$

Очевидно, что функция $\tilde{x}(\lambda)$ непрерывна вплоть до границы указанной области.

Обозначим через \tilde{f} преобразование Фурье функции f ; оно определяется как функционал на пространстве $\tilde{x}(\lambda)$, задаваемый формулой $(\tilde{f}, \tilde{x}) = \overline{(f, x)}$.

Вспоминая определение $\overset{0}{\Delta}_2$, имеем: $0 = (\overset{0}{\Delta}_2 f, x) = (f, \overset{0}{\Delta}_2 x) = \overline{(\tilde{f}, \overset{0}{\Delta}_2 x)}$.

Но из (1) видно, что $\overset{0}{\Delta}_2 x = [(\lambda, \lambda) + (\rho, \rho)] \tilde{x}(\lambda)$. Таким образом, мы по-

лучаем, что функционал \tilde{f} сосредоточен на многообразии

$$(\lambda, \lambda) + (\rho, \rho) = 0. \quad (5)$$

С другой стороны, λ удовлетворяет неравенству (4). Покажем, что многообразие (5) имеет с областью (4) лишь одну общую точку. Действительно, подставляя $\lambda = \sigma + i\tau$ в (5), имеем $(\sigma, \tau) = 0$, $(\sigma, \sigma) - (\tau, \tau) + (\rho, \rho) = 0$, откуда

$$(\tau, \tau) = (\rho, \rho) + (\sigma, \sigma) > (\rho, \rho), \quad (6)$$

если $\sigma \neq 0$.

Выбирая $t = \tau$ и подставляя в левую часть (4), получаем $g(\tau) = (\tau, \tau) - (\rho, \tau)$. В силу неравенства Буняковского $g(\tau) \geq 0$, причем знак равенства достигается только при $\tau = \rho$. Вспоминая (4) и (6), получаем из последнего равенства, что $\sigma = 0$. Итак, мы показали, что пересечение многообразия (5) с (4) состоит из одной точки ρ .

Повторяя аналогичные рассуждения для других углов, мы получим, что функционал \tilde{f} сосредоточен на точках вида $\lambda = is\rho$ ($s \in W$).

Применяя стандартные рассуждения теории обобщенных функций, а также пользуясь симметрией \tilde{f} , получаем окончательно

$$\tilde{f} = a \sum \delta(\lambda - is\rho).$$

Возвращаясь к $f(t)$, мы получаем, что существует единственная с точностью до постоянного множителя функция, удовлетворяющая всем поставленным условиям. Так как, с другой стороны, функция, равная тождественно константе, удовлетворяет нужным условиям, то $f(t) \equiv \text{const}$. Теорема доказана.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
31 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Гельфанд, ДАН, 70, № 1 (1950). ² В. Феллер, Усп. матем. наук, 8, 232 (1941). ³ Ф. А. Березин, И. М. Гельфанд, Тр. Московск. матем. общ., 5, 311 (1956). ⁴ Ф. А. Березин, Тр. Московск. матем. общ., 6, 371 (1957). ⁵ Harish-Chandra, Am. J. Math., 80, № 2, 241 (1958).

К. Х. ДАУКЕР

О ТЕОРЕМЕ ВЫРЕЗАНИЯ

(Представлено академиком П. С. Александровым 16 I 1959)

Для бикомпактной пары (X, A) Эйленберг и Сминрод ⁽¹⁾ доказали, что ∇ -группы $H^q(X, A)$ Чеха инвариантны относительно операции вырезания посредством открытого множества U , замыкание $[U]$ которого содержится в A , т. е. гомоморфизм $H^q(X, A) \rightarrow H^q(X \setminus U, A \setminus U)$ является изоморфизмом. Эта теорема вырезания, в частности, применяется к доказательству теоремы Майера — Виеториса о ∇ -группах суммы двух пространств. Теорема вырезания для более общих пространств вытекает из теорем Уоллеса ⁽²⁾ и Сакая ⁽³⁾.

В настоящей заметке мы даем новое обобщение этой теоремы и приводим пример, показывающий, что наше обобщение является в некотором смысле окончательным.

Лемма 1. Пусть $\{F_\omega\}$ — локально конечная система замкнутых множеств в коллективно нормальном ⁽⁴⁾ пространстве X . Пусть $\{W_n\}_{n=1, 2, \dots}$ — такое локально конечное покрытие пространства X , что каждая точка в замыкании $[W_n]$ является элементом множества F_ω для не более чем n значений индекса ω . Тогда существуют такие открытые множества Y_ω , что $F_\omega \subseteq Y_\omega$ и что системы $\{Y_\omega\}$, $\{F_\omega\}$ подобны.

Доказательство этой леммы содержится в доказательстве утверждения (2.3) статьи ⁽⁵⁾.

Лемма 2. Пусть X — коллективно нормально, E — замкнутое в X , $\{G_\omega\}$ — локально конечное покрытие подпространства E . Тогда существуют такие открытые V_ω , что $E \subseteq \bigcup V_\omega$, $V_\omega \cap E \subseteq G_\omega$, и системы $\{V_\omega \cap E\}$, $\{V_\omega\}$ подобны.

Доказательство. Так как E нормально, то существует такое покрытие $\{H_\omega\}$ подпространства E , что $[H_\omega] \subseteq G_\omega$; возьмем в E такую непрерывную функцию φ_ω , что $0 \leq \varphi_\omega \leq 1$; $\varphi_\omega(x) = 0$, если $x \in E \setminus G_\omega$; $\varphi_\omega(x) = 1$, если $x \in [H_\omega]$. Так как система $\{G_\omega\}$ локально конечна и X нормально, то сумма $\varphi(x) = \sum_{\omega} \varphi_\omega(x)$ непрерывна и φ можно продолжить

до такой непрерывной функции f , что $0 \leq f(x) < \infty$ на всем X . Пусть $W_n = \{x : n - 2 < f(x) < n\}$. Согласно лемме 1 существуют такие открытые Y_ω , что $[H_\omega] \subseteq Y_\omega$ и что системы $\{Y_\omega\}$, $\{[H_\omega]\}$ подобны. Положим $V_\omega = Y_\omega \setminus (E \setminus G_\omega)$; тогда V_ω открыто, $[H_\omega] \subseteq V_\omega \cap E \subseteq G_\omega$, и $E = \bigcup [H_\omega] \subseteq \bigcup V_\omega$. Из $[H_\omega] \subseteq V_\omega \cap E \subseteq V_\omega \subseteq X_\omega$, вытекает, что $\{V_\omega \cap E\}$, $\{V_\omega\}$ подобны.

Скажем, что A просто расположено в X , если выполнено следующее условие: для каждой системы $\{U_\omega\}$ открытых в X множеств, покрывающей множество A , существует такая система $\{V_\omega\}$, что $A \subseteq \bigcup V_\omega$, $V_\omega \subseteq U_\omega$, и системы $\{V_\omega \cap A\}$, $\{V_\omega\}$ подобны между собою. Очевидно, если $A \subseteq Y \subseteq X$ и A просто расположено в X , то A просто расположено в Y . Если \bar{Y} — окрестность множества A (т. е. A содержится в открытом ядре $\langle Y \rangle$ множества Y) и если A просто расположено в Y , то A просто расположено в X .

Лемма 3. Если E замкнуто и паракомпактно (но не обязательно Γ_1 -пространство) и если E имеет коллективно нормальную окрестность Y в X , то E просто расположено в X .

Доказательство. Пусть $E \subseteq \bigcup U_\omega$, где U_ω открыты. Так как E паракомпактно, то существует такое локально конечное покрытие $\{G_\omega\}$ множества E , что $G_\omega \subseteq U_\omega \cap E$. Согласно лемме 2, существуют такие открытые W_ω в Y , что $E \subseteq \bigcup W_\omega$, $W_\omega \cap E \subseteq G_\omega$ и что системы $\{W_\omega \cap E\}$, $\{W_\omega\}$ подобны. Пусть $V_\omega = U_\omega \cap W_\omega \cap \langle Y \rangle$; тогда V_ω открыто, $V_\omega \subseteq U_\omega$ и из того, что $W_\omega \cap E = V_\omega \cap E \subseteq V_\omega \subseteq W_\omega$, следует, что системы $\{V_\omega \cap A\}$, $\{V_\omega\}$ подобны.

Проблема. Верна ли эта лемма без гипотезы паракомпактности множества E ? Нетрудно показать, что в пространстве M (см. (6), стр. 115), которое является коллективно нормальным, но непаракомпактным, каждое замкнутое множество просто расположено.

Теорема. Пусть $X = E \cup F$, где E, F замкнуты. Предположим, что $E \cap F$ паракомпактно и имеет коллективно нормальную окрестность либо в E , либо в F (или даже, что является более общим предположением, что $E \cap F$ просто расположено либо в E либо в F). Пусть $A \supseteq E$ и $B \supseteq F$. Тогда гомоморфизм $H^q(X, B) \rightarrow H^q(A, A \cap B)$, порожденный отображением вложения, является изоморфизмом*.

Доказательство. Так как E замкнуто, то каждое покрытие $\gamma' = (\gamma'_1, \gamma'_2)$ пары $(E \cap B, E \cap F)$ получается в виде пересечения $\gamma \cap (E \cap B)$, где γ — некоторое покрытие пары $(A \cap B, A \cap F)$. Пусть β вписано в γ . Найдем такое покрытие α , вписанное в β , что: 1) если $W \in \alpha_1$ и $W \cap F \neq \Lambda$, то $W \in \alpha_2$, и 2) если $W_i \in \alpha_1, i = 0, \dots, n$, и $W_0 \cap \dots \cap W_n \cap E \cap F = \Lambda$, то или $W_0 \cap \dots \cap W_n \cap E = \Lambda$ или $W_0 \cap \dots \cap W_n \cap F = \Lambda$.

Так как $E \cap F$ просто расположено или в $E \cap B$ или в $A \cap E$, то существует для каждого $U \in \beta_2$ такое открытое τU в $E \cap B$ (соответственно в $A \cap F$), что $\tau U \subseteq U, E \cap F \subseteq \bigcup \tau U$ и что системы $\{\tau U\}, \{E \cap F \cap \tau U\}_{U \in \beta_2}$ подобны. Пусть $\theta U = (U \setminus E) \cup \tau U$ (соответственно $\theta U = (U \setminus F) \cup \tau U$). Тогда θU открыто в $A \cap B, \theta U \subseteq U, E \cap F \subseteq \bigcup \theta U$, и $\{E \cap F \cap \theta U\}_{U \in \beta_2}$ подобна или системе $\{E \cap \theta U\}$ или $\{F \cap \theta U\}$.

Пусть α_2 состоит из всех различных множеств вида или $U \setminus E$ или θU для $U \in \beta_2$, и пусть α_1 состоит из этих множеств и из всех множеств $U \setminus F$ для $U \in \beta_1$. Легко видеть, что $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)$ вписано в β и обладает свойствами 1) и 2).

Пусть α' — покрытие $\alpha \cap (E \cap B)$ пары $(E \cap B, E \cap F)$, тогда α' вписано в γ' . Пусть (K_α, L_α) — нерв покрытия α и $(K_{\alpha'}, L_{\alpha'})$ — нерв α' . Отождествляем $K_{\alpha'}$ с подкомплексом комплекса K_α и $L_{\alpha'}$ с подкомплексом L_α . Из свойств 1) и 2) вытекает, что $(K_{\alpha'}, L_{\alpha'})$ получается из (K_α, L_α) , если удалим и из K_α и из L_α некоторые внутренние симплексы комплекса L_α . Из теоремы вырезания комплексов вытекает, что гомоморфизм $H^q(K_\alpha, L_\alpha) \rightarrow H^q(K_{\alpha'}, L_{\alpha'})$ является изоморфизмом. Из того, что и покрытия вида α соответственно покрытия вида α' образуют конфинальную часть во множестве всех покрытий соответствующей пары, вытекает, что гомоморфизм $H^q(A \cap B, A \cap F) \rightarrow H^q(E \cap B, E \cap F)$ тоже изоморфизм. Заменяя A через X , получаем изоморфизм $H^q(B, F) \rightarrow H^q(E \cap B, E \cap F)$. Следовательно, гомоморфизм $H^q(B, F) \rightarrow H^q(A \cap B, A \cap F)$ является изоморфизмом. Заменяя B через X , получаем изоморфизм $H^q(X, F) \rightarrow H^q(A, A \cap F)$. Следовательно, отображение вложения тройки $(A, A \cap B, A \cap F)$ в тройку (X, B, F) порождает изоморфизм ∇ -гомологических последовательностей.

Значит, гомоморфизм $H^q(X, B) \rightarrow H^q(A, A \cap B)$ является изоморфизмом.

* Из теоремы Сакая (3) эта теорема вытекает лишь при дополнительных предположениях, что X — хаусдорфово пространство, что A и B замкнуты и что окрестность множества $E \cap F$ является паракомпактной и замкнутой окрестностью в X .

Следствие. В предположениях теоремы триада (X, A, B) собственна (см. (1)) и существует точная последовательность Майера — Виеториса

$$\dots \rightarrow H^{q-1}(A \cap B) \rightarrow H^q(X) \rightarrow H^q(A) + H^q(B) \rightarrow H^q(A \cup B) \rightarrow \dots$$

Пример. Пусть R — несчетное упорядоченное множество. Обозначим через $S = 2^R$ множество всех подмножеств множества R , и пусть $T = = 2^S$. Существует естественное отображение $\tau: R \rightarrow T$, где $\tau(r) = \{s: r \in s\}$. Пусть $T_1 = T \setminus \tau(R)$.

Пусть X — пространство, которое состоит из всех элементов $r \in R$ и из всех троек (t, r_1, r_2) , где $t \in T_1$, $r_1, r_2 \in R$ и $r_1 \neq r_2$. Каждая точка (t, r_1, r_2) будет открытым множеством. Произвольной окрестностью точки будет множество $O(r; s_1, \dots, s_k)$, где $0 \leq k < \infty$ и $s_1, \dots, s_k \in S$, которое состоит из r и из всех таких точек (t, r_1, r_2) , что $r \in \{r_1, r_2\}$ и для каждого $i = 1, \dots, k$ или $r \in s_i \in t$ или $r \notin s_i \notin t$. Как в (4), можно показать, что X является нульмерным и, следовательно, нормальным хаусдорфовым пространством.

Пусть $G = \{(t, r_1, r_2): r_1 < r_2\}$, пусть $H = \{(t, r_1, r_2): r_1 > r_2\}$ и пусть $E = = X \setminus H$, $F = X \setminus G$. Тогда E и F замкнуты.

В каждое покрытие пары (X, F) можно вписать такое покрытие (α_1, α_2) , что $K_\alpha \setminus L_\alpha$ состоит из изолированных точек. Следовательно, $H^1(X, F) = = 0$.

Пусть Γ — конфинальная часть семейства всех покрытий пары (E, R) , состоящая из таких (γ_1, γ_2) , в которых γ_2 состоит из одной окрестности $E \cap O(r; s_1, \dots, s_k)$ каждой точки $r \in R$, а γ_1 — из γ_2 вместе с одноточечными окрестностями таких точек, которые не содержатся ни в каком элементе γ_2 . Тогда K_γ — одномерный*, L_γ — нульмерные комплексы, и обе вершины каждого одномерного симплекса K_γ содержатся в L_γ . Если $\delta \in \Gamma$ вписано в γ , то при проекции K_δ в K_γ одномерная часть K_δ отображается изоморфно в K_γ . Следовательно, если одномерный ∇ -цикл ζ пары (K_γ, L_γ) нигде не равен нулю, то ζ отличен от нуля в $H^1(E, R)$. Значит, $H^1(E, R) \neq 0$. Поэтому гомоморфизм $H^1(X, F) \rightarrow H^1(E, R)$ не есть изоморфизм**.

Паракомпактное подпространство R не имеет никакой коллективно нормальной окрестности ни в E , ни в F .

Лондонский университет
Лондон, Англия

Поступило
17 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. Eilenberg, N. Steenrod, Foundations of Algebraic Topology, Princeton, 1952. ² A. D. Wallace, Duke Math. J., 19, 177 (1952). ³ S. Sakai, Sci. Rep. Tokyo Bunrika Daigaku, A4, 290 (1953). ⁴ R. H. Bing, Canad. J. Math., 3, 175 (1951). ⁵ C. H. Dowker, Proc. London Math. Soc., 6, 100 (1956). ⁶ C. H. Dowker, Quart. J. Math. Oxford, 6, 101 (1955).

* Как в доказательстве Бинга ((4), стр. 185), можно показать, что размерность K_γ положительна.

** Эйленберг поставил вопрос, верна ли теорема вырезания для ∇ -групп Чеха в любом нормальном пространстве. Уоллес правильно предвидел отрицательный ответ на этот вопрос.

Н. М. ҚОРОБОВ

О ЧАСТИЧНО РАЦИОНАЛЬНЫХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СУММАХ

(Представлено академиком И. М. Виноградовым 1 IX 1958)

Пусть часть коэффициентов многочлена

$$f(x) = \alpha_1 x + \dots + \alpha_{n+1} x^{n+1}$$

рациональна. Обозначим через q общее наименьшее кратное указанных коэффициентов. Сумму вида

$$\sum_{P < x \leq P+q} \exp [2\pi i f(x)]$$

(P — произвольное целое) будем называть в этом случае частично рациональной тригонометрической суммой.

Теорема 1. Если q — простое, $1 \leq s < n < q-1$ и $(q, a_{n+1}) = 1$, то при любых действительных $\alpha_1, \dots, \alpha_s$ для частично рациональной суммы

$$S = \sum_{P < x \leq P+q} \exp \left[2\pi i \left(\alpha_1 x + \dots + \alpha_s x^s + \frac{a_{s+1} x^{s+1} + \dots + a_{n+1} x^{n+1}}{q} \right) \right] \quad (1)$$

справедлива оценка

$$|S| \leq e^{\beta \left(\frac{\ln n}{s^2 \ln 2s} + s \ln^2 2s \right)} q^{1 - \frac{\gamma}{s^2 \ln 2s}},$$

где $\beta > 0$, $\gamma > 0$ — некоторые абсолютные константы.

Доказательство. Пусть $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ — фиксированные целые. Обозначим через $N_{k,n}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ число решений системы уравнений

$$\begin{array}{rcl} x_1 + \dots + x_k & = & y_1 + \dots + y_k + \lambda_1, \\ \dots & & \dots \\ x_1^n + \dots + x_k^n & = & y_1^n + \dots + y_k^n + \lambda_n. \end{array} \quad 1 \leq x_v, y_v \leq q$$

Рассмотрим сначала случай $P = 0$. Очевидно, проводя суммирование по всем $|\lambda_v| < kq^v$, получим

$$\begin{aligned} |S|^{2k} &= \sum_{\lambda_1, \dots, \lambda_{n+1}} N_{k, n+1}(\lambda_1, \dots, \lambda_{n+1} \times \\ &\times \exp \left[2\pi i \left(\alpha_1 \lambda_1 + \dots + \alpha_s \lambda_s + \frac{a_{s+1} \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1} \lambda_{n+1}}{q} \right) \right] \leq \\ &\leq \sum_{\lambda_1, \dots, \lambda_s} \left| \sum_{\lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}} N_{k, n+1}(\lambda_1, \dots, \lambda_{n+1}) \exp \left[2\pi i \frac{a_{s+1} \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1} \lambda_{n+1}}{q} \right] \right| \end{aligned}$$

Отсюда следует (см. (1), лемма 2), что

$$|S|^{2k} \leq \sum_{\lambda_1, \dots, \lambda_{n+1}} N_{k, n+1}(0, \dots, 0, \lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}) \times \\ \times \exp \left[2\pi i \frac{a_{s+1} \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1} \lambda_{n+1}}{q} \right] \leq \\ \leq (2k)^s q^{s(s+1)/2} \times \\ \times \sum_{\lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}} N_{k, n+1}(0, \dots, 0, \lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}) \exp \left[2\pi i \frac{a_{s+1} \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1} \lambda_{n+1}}{q} \right]. \quad (2)$$

Пусть $q_1 < q$. Легко показать, что справедливо неравенство

$$\left| \frac{1}{4} S \right|^{2k} \leq \frac{1}{q_1} \sum_{y=1}^q \left| \sum_{x=1}^q \exp [2\pi i \varphi(x+y)] \right|^{2k} + q_1^{2k},$$

где

$$\varphi(x) = \alpha_1 x + \dots + \alpha_s x^s + \frac{a_{s+1} x^{s+1} + \dots + a_{n+1} x^{n+1}}{q}.$$

Применяя к внутренней сумме оценку (2), получим

$$\left| \frac{1}{4} S \right|^{2k} \leq (2k)^s q^{1/2 s(s+1)} q_1^{-1} \sum_{\lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}} N_{k, n+1}(0, \dots, 0, \lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}) \times \\ \times \sum_{y=1}^q \exp \left[2\pi i \frac{a_{s+1}(y) \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1}(y) \lambda_{n+1}}{q} \right] + q_1^{2k}, \quad (3)$$

где $a_{s+1}(y) \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1}(y) \lambda_{n+1} = C_{n+1}^{s+1} a_{n+1} \lambda_{s+1} y^{n-s} + \dots$ — многочлен степени $n-s$ с целыми коэффициентами.

Разобьем системы $\lambda_{s+1}, \dots, \lambda_{n+1}$ на два класса, относя к первому классу системы, для которых $\lambda_{s+1} \equiv 0 \pmod{q}$, и к второму классу — все остальные системы. Пользуясь результатами А. Вейля (2), получим

$$\left| \sum_{y=1}^q \exp \left[2\pi i \frac{a_{s+1}(y) \lambda_{s+1} + \dots + a_{n+1}(y) \lambda_{n+1}}{q} \right] \right| \leq \\ \leq \begin{cases} q & \text{для систем 1-го класса,} \\ n \sqrt{q} & \text{для систем 2-го класса.} \end{cases} \quad (4)$$

Обозначим через Σ_1 и Σ_2 части суммы (3), в которых суммирование распространено соответственно на системы 1-го и 2-го классов, и перепишем оценку (3) в виде

$$\left| \frac{1}{4} S \right|^{2k} \leq (2k)^s q^{1/2 s(s+1)} q_1^{-1} (\Sigma_1 + \Sigma_2) + q_1^{2k}. \quad (5)$$

Пользуясь оценками (4) и определением величин $N_{k, n}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, не трудно проверить, что

$$|\Sigma_1| \leq 2k q^{s+1} N_{k, s+1}(0, \dots, 0),$$

$$|\Sigma_2| \leq n \sqrt{q} N_{k, s}(0, \dots, 0).$$

Выберем $k = [Ms^2 \ln 2s]$, где M — достаточно большая положительная константа. Тогда, пользуясь теоремой И. М. Виноградова о среднем (3, 4),

получим

$$|\Sigma_1| \leq e^{\beta_1 s^3 \ln^3 2s} q^{2k - 1/2s(s+1) + 1/4},$$

$$|\Sigma_2| \leq n e^{\beta_1 s^3 \ln^3 2s} q^{2k - 1/2s(s+1) + 3/4}$$

и, следовательно, в силу (5)

$$|S|^{2k} \leq n e^{\beta_2 s^3 \ln^3 2s} q^{2k + 3/4} q_1^{-1} + q_1^{2k}.$$

Отсюда при $q_1 = [q^{1-1/(8k+4)}]$ следует утверждение теоремы для случая $P = 0$.

Случай $P \neq 0$ сводится к предыдущему с помощью линейной замены переменной $x = P + z$.

Заметим, что, пользуясь несколько более сложными средствами (например, применяя лемму 1 работы (1)), можно усилить утверждение теоремы, причем коэффициент $e^{\beta_1 s^3 \ln^3 2s}$ заменится абсолютной константой C и одновременно улучшится понижающий множитель $q^{\gamma/s^2 \ln 2s}$.

Для сумм вида (1) Ю. В. Линником (5) был указан понижающий множитель $q^{\gamma/2s}$. Оценки Ю. В. Линника целесообразно применять на интервале $c_1 \leq s \leq c_2 \ln n$, где c_1 и c_2 — некоторые константы, так как только на нем эти оценки сильнее общих оценок сумм Вейля, найденных И. М. Виноградовым (6). Утверждение теоремы 1, очевидно, сильнее указанных оценок для всех s , принадлежащих интервалу $c_1 \leq s \leq c_2 n$.

В следующей теореме указаны оценки, получающиеся в общем случае частично рациональных сумм, когда q уже не предполагается простым.

Теорема 2. Пусть $1 \leq s < n < q$ и $(q, (n+1)!) = 1$. Тогда при любых действительных $\alpha_1, \dots, \alpha_s$ справедлива оценка

$$\sum_{P < x \leq P+q} \exp \left[2\pi i \left(\alpha_1 x + \dots + \alpha_s x^s + \frac{a_{s+1} x^{s+1} + \dots + a_{n+1} x^{n+1}}{q} \right) \right] = \\ = O(q^{1-\gamma/ns^2 \ln 2s}),$$

где γ — абсолютная положительная константа.

Доказательство сходно с доказательством теоремы 1, но вместо результатов А. Вейля используются оценки работы (7). Оценки теоремы 2, очевидно, сильнее ранее известных для всех s , удовлетворяющих условию $c_1'' \leq s \leq c_2'' \sqrt{\frac{n}{\ln n}}$.

Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
26 VI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. М. Коробов, Усп. матем. наук, **13**, 4 (82), 185 (1958). ² A. Weyl, Proc. Nat. Acad. Sci. Washington, **34**, 5, 204, (1948). ³ И. М. Виноградов, Изв. АН СССР, сер. матем., **15**, 109 (1951). ⁴ Хуа Логен, Quart. J. Math., **20**, 48 (1949). ⁵ Ю. В. Линник, Усп. матем. наук, **14**, в. 3 (87) (1959). ⁶ И. М. Виноградов, Изв. АН СССР, сер. матем., **14**, 199 (1950). ⁷ Хуа Логен, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, **22**, 7 (1947).

М. А. НАЙМАРК

О РАЗЛОЖЕНИИ НА НЕПРИВОДИМЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕНЗОРНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОСНОВНОЙ СЕРИИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЕРИИ СОБСТВЕННОЙ ГРУППЫ ЛОРЕНЦА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 8 I 1959)

В предыдущей статье автора ⁽¹⁾ была решена задача разложения на неприводимые представления тензорного произведения двух представлений основной серии собственной группы Лоренца. В данной статье аналогичная задача решается для тензорного произведения представления основной серии и представления дополнительной серии. При этом используются обозначения статьи ⁽¹⁾ *; кроме того, как и в ⁽¹⁾, вместо представлений собственной группы Лоренца рассматриваются представления локально ей изоморфной группы \mathfrak{G} комплексных матриц второго порядка с определителем, равным единице.

1. Напомним определение представлений дополнительной серии. Пусть ν — фиксированное число из интервала $0 < \nu < 2$. Обозначим \mathfrak{H}'_ν совокупность всех измеримых функций $f(z)$ комплексного переменного z , для которого сходится интеграл $\int |z_1 - z_2|^{-2+\nu} |f(z_1)| |f(z_2)| dz_1 dz_2$, а через \mathfrak{H}_ν — гильбертово пространство, являющееся пополнением \mathfrak{H}'_ν по скалярному произведению $(f_1, f_2) = \int |z_1 - z_2|^{-2+\nu} f_1(z_1) f_2(z_2) dz_1 dz_2$. Пусть U_g — оператор в \mathfrak{H}'_ν , определенный формулой

$$U_g f(z) = |\beta z + \delta|^{-2-\nu} f\left(\frac{\alpha z + \gamma}{\beta z + \delta}\right) \quad \text{при } g = \begin{vmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{vmatrix};$$

оператор U_g изометричен в \mathfrak{H}'_ν и потому продолжается единственным образом до изометрического оператора — обозначим его снова U_g — в \mathfrak{H}_ν . Соответствие $g \rightarrow U_g$ есть неприводимое унитарное представление группы \mathfrak{G} в

* В мои статьи ^(1, 2) необходимо внести следующие исправления:

В статье ⁽¹⁾ на стр. 873 в формуле (5) вместо $\frac{m+m_1-m_2}{2}$, $\frac{m-m_1+m_2}{2}$, $\frac{\sigma+\sigma_1-\sigma_2}{2}$ и $\frac{\sigma-\sigma_1+\sigma_2}{2}$ должно быть соответственно $\frac{m+m_1-m_2}{4}$, $\frac{m-m_1+m_2}{4}$, $\frac{\sigma+\sigma_1-\sigma_2}{4}$ и $\frac{\sigma-\sigma_1+\sigma_2}{4}$.

В статье ⁽¹⁾ на стр. 874 в формуле для S^{-1} под интегралом пропущен множитель $\omega(\chi)$.

В статье ⁽²⁾ на стр. 593 в формуле в первом абзаце вместо $\frac{m+m_1-m'}{2}$, $\frac{m-m_1+m'}{2}$, $\frac{\sigma+\sigma_1-\sigma'}{2}$, $\frac{\sigma-\sigma_1+\sigma'}{2}$ должно быть соответственно $\frac{m+m_1-m'}{4}$, $\frac{m-m_1+m'}{4}$, $\frac{\sigma+\sigma_1-\sigma'}{4}$, $\frac{\sigma-\sigma_1+\sigma'}{4}$.

\mathfrak{H}_v ; обозначим через \mathfrak{D}_v это представление. Совокупность всех \mathfrak{D}_v , $0 < v < 2$, называется дополнительной серией представлений группы \mathfrak{G} (подробнее см. в (3, 4)). В соответствии с этим определением тензорное произведение $\mathfrak{S}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_v$ представлений $\mathfrak{S}_{m_1, \sigma_1}$ и \mathfrak{D}_v реализуется в $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_v$, т. е. в пополнении пространства $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_v$. Последнее пространство состоит из всех измеримых функций $\overline{f(z_1, z_2)}$, для которых сходится абсолютно интеграл $\int |z_2 - z_2'|^{-2+v} f(z_1, z_2) \overline{f(z_1, z_2')} dz_1 dz_2 dz_2'$ и скалярное произведение в нем есть

$$(f_1, f_2) = \int |z_2 - z_2'|^{-2+v} f_1(z_1, z_2) \overline{f_2(z_1, z_2')} dz_1 dz_2 dz_2'.$$

Оператор T_g представления $\mathfrak{S}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_v$ для $f \in L^2(z) \times \mathfrak{H}_v$ задается формулой

$$T_g f(z_1, z_2) = |\beta z_1 + \delta|^{-m_1 + i\sigma_1 - 2} (\beta z_1 + \delta)^{m_1} |\beta z_2 + \delta|^{-v-2} f\left(\frac{\alpha z_1 + \gamma}{\beta z_1 + \delta}, \frac{\alpha z_2 + \gamma}{\beta z_2 + \delta}\right)$$

и продолжается далее единственным образом до унитарного оператора в $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_v$.

2. Разложение представления $\mathfrak{S}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_v$ на неприводимые представления основано на рассмотрении следующего представления группы \mathfrak{G} , являющегося аналогом регулярного представления. Обозначим через \mathcal{H}_v пространство всех непрерывных функций $x(g)$ на \mathfrak{G} , равных нулю вне некоторого компактного множества (своего для каждой функции) со скалярным произведением

$$(x_1, x_2) = \int x_1(g) \overline{x_2(\zeta g)} |\zeta|^{-2+v} dg d\zeta,$$

где, как и в (1),

$$\zeta = \begin{pmatrix} 1 & \zeta \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

пусть \mathcal{H}_v — пополнение \mathcal{H}_v по этому скалярному произведению. Определим унитарное представление $g \rightarrow B_g$ в \mathcal{H}_v , полагая $B_{g_0} x(g) = x(gg_0)$ для $x(g) \in \mathcal{H}_v$ и продолжая затем B_{g_0} по непрерывности до унитарного оператора в \mathcal{H}_v . Обозначим через \mathfrak{B}_v это представление. Положим для $x(g) \in \mathcal{H}_v$

$$x_\zeta(g) = x(\delta \zeta g) = x(\lambda, \zeta, z) \quad \text{при } g = \delta \zeta g, \quad \delta = \begin{pmatrix} \lambda^{-1} & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$\varphi(z_1, z_2, \chi) = \int x\left(\lambda, \frac{1}{z_2 - z_1}, z_1\right) |z_2 - z_1|^{-2-v} |\lambda|^{-2-v} \overline{\chi(\lambda)} d\lambda. \quad (3)$$

Пусть $\mathfrak{H}_{\varphi, v}$ — пространство всех измеримых функций $\varphi(z_1, z_2, \chi)$, для которых интеграл $\int \varphi(z_1, z_2, \chi) \overline{\varphi(z_1, z_2', \chi)} |z_2 - z_2'|^{-2-v} dz_1 dz_2 dz_2' d\chi$ сходится абсолютно и пусть $\mathfrak{H}_{\varphi, v}$ — пополнение $\mathfrak{H}_{\varphi, v}$ по скалярному произведению

$$(\varphi_1, \varphi_2) = \int \varphi_1(z_1, z_2, \chi) \overline{\varphi_2(z_1, z_2', \chi)} |z_2 - z_2'|^{-2+v} dz_1 dz_2 dz_2' d\chi.$$

1. Соответствие $x \rightarrow \varphi$, устанавливаемое формулами (2) и (3), есть изометрическое отображение множества \mathcal{H}_v , плотного в \mathcal{H}_v , на некоторое множество, плотное в $\mathfrak{H}_{\varphi, v}$, и потому продолжается по непрерывности до изометрического отображения T пространства \mathcal{H}_v на пространство $\mathfrak{H}_{\varphi, v}$. При переходе от $x(g)$ к $B_g x(g) = x(gg_0)$ функция $\varphi(z_1, z_2, \chi)$, рассматриваемая как функция от z_1, z_2 , для почти каждого χ преобразуется по представлению $\mathfrak{S}_{m_1, \sigma} \times \mathfrak{D}_v$, где $\chi(\lambda) = |\lambda|^{-m + i\sigma} \lambda^m$; следовательно, при отображении T представление \mathfrak{B}_v переходит в континуальную сумму по (m, σ) представлений $\mathfrak{S}_{m, \sigma} \times \mathfrak{D}_v$.

3. С другой стороны, применяя к (1) аналог формулы Планшереля для группы \mathfrak{G} , получаем

$$(x_1, x_2) = \int K_1^\wedge(z_1', z_2, \chi) \overline{K_2^\wedge(z_1, z_2, \chi)} |z_1' - z_1|^{-2+\nu} \omega(\chi) dz_1 dz_1' dz_2 d\chi, \quad (4)$$

где

$$K_1^\wedge(z_1, z_2, \chi) = |z_1|^{-\nu} \chi(z_1) K(z_1, z_2, \chi),$$

$$K(z_1, z_2, \chi) = \int x(z_1^{-1} \delta \zeta z_2) \overline{\chi(\lambda)} |\lambda|^{-4} d\lambda d\zeta$$

($K(z_1, z_2, \chi)$ есть ядро оператора $V_x = \int x(g) V_g dg$, где $g \rightarrow V_g$ — представление $\mathfrak{S}_{-m, -\sigma}$). При переходе от $x(g)$ к $x(gg_0)$ функция $K(z_1, z_2, \chi)$, а значит и $K_1^\wedge(z_1, z_2, \chi)$, рассматриваемая как функция от z_2 , преобразуются по представлению $\mathfrak{S}_{m, \sigma}$, где $\chi(\lambda) = |\lambda|^{-m+\sigma} \lambda^m$. Следовательно:

II. Формула (4) осуществляет разложение представления \mathfrak{B} , на неприводимые представления, причем в этом разложении участвуют только представления основной серии.

4. Обозначим через X_1 совокупность всех характеров $\chi(\lambda) = |\lambda|^{-m+i\sigma} \lambda^m$ таких, что $m - m_1$ — четное число. Далее, обозначим через \mathfrak{M} гильбертово пространство всех измеримых функций $f(z, \chi)$, $\chi \in X_1$ таких, что:

$$a) \quad \int_{Z \times X_1} |f(z, \chi)|^2 b(\chi) dx < \infty,$$

где

$$b(\chi) = \frac{1}{8\pi} \frac{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)}{\Gamma\left(1 - \frac{\nu}{2}\right)} \frac{\left|\Gamma\left(\frac{m-m'}{2} + i\frac{\sigma-\sigma'}{2} - \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right)\right|^2}{\left|\Gamma\left(\frac{m-m'}{2} - i\frac{\sigma-\sigma'}{2} + \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right)\right|^2} (m^2 + \sigma^2);$$

б) преобразование Фурье по z

$$\hat{f}(\omega, \chi) = \frac{1}{2\pi} \int f(z, \chi) e^{-i \operatorname{Re}(z\bar{\omega})} dz$$

функции $f(z, \chi)$ удовлетворяет условию

$$\begin{aligned} \hat{f}(\omega, \chi^{-1}) &= (-1)^m 2^{-i\sigma} |\omega|^{m+i\sigma} \omega^{-m} \cdot \\ &\cdot \frac{\Gamma\left(-\frac{m+m_1}{4} - i\frac{\sigma+\sigma_1}{4} - \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{m-m_1}{4} - i\frac{\sigma-\sigma_1}{4} + \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(-\frac{m+m_1}{4} + i\frac{\sigma+\sigma_1}{4} + \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{m-m_1}{4} + i\frac{\sigma-\sigma_1}{4} - \frac{\nu}{4} + \frac{1}{2}\right)} f(\omega, \chi) \end{aligned} \quad (5)$$

для почти всех ω, χ , $\chi \in X_1$, причем скалярное произведение в \mathfrak{M} определяется формулой

$$(f_1, f_2) = \int_{Z \times X_1} f_1(z, \chi) \overline{f_2(z, \chi)} b(\chi) d\chi.$$

Теорема. Для любой функции $f(z_1, z_2) \in L^2(Z) \times \mathfrak{H}'$ интеграл

$$f(z, \chi) = \int f(z_1, z_2) a(z_1, z_2, z, \chi_1, \nu, \chi) dz_1 dz_2, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} a(z_1, z_2, z, \chi_1, \nu, \chi) &= |z_2 - z_1|^{\frac{m+m_1}{2} - i\frac{\sigma+\sigma_1}{2} - \frac{\nu}{2} - 1} (z_2 - z_1)^{-\frac{m+m_1}{2}} \cdot \\ &\cdot |z - z_1|^{-\frac{m-m_1}{2} + i\frac{\sigma-\sigma_1}{2} - \frac{\nu}{2} - 1} (z - z_1)^{\frac{m-m_1}{2}} |z_2 - z|^{-\frac{m+m_1}{2} + i\frac{\sigma+\sigma_1}{2} + \frac{\nu}{2} - 1} \cdot \\ &\cdot (z_2 - z_1)^{\frac{m+m_1}{2}} \end{aligned} \quad (7)$$

сходится в смысле нормы в \mathfrak{M} , и соответствие $f(z_1, z_2) \rightarrow f(z, \chi)$, устанавливаемое формулой (6), определяет изометрическое отображение $Sf = f(z, \chi)$ пространства $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_\nu$ на пространстве \mathfrak{M} . Обратное отображение $S^{-1} = S^*$ задается формулой

$$S^{-1}f(z, \chi) = \int_{Z \times X_1} f(z, \chi) a(z_1, z_2, z, \chi_1^{-1}, -\nu, \chi^{-1}) \omega(\chi) dz d\chi, \quad (8)$$

причем интеграл в (8) сходится в смысле нормы в $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_\nu$ к некоторому элементу из $L^2(Z) \times \mathfrak{H}_\nu$. При применении к $f \in L^2(Z) \times \mathfrak{H}_\nu$ оператора T_g представления $\mathfrak{E}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_\nu$ функции $f(z, \chi) = Sf$ переходит в

$$|\beta z + \delta|^{-m+i\sigma-2} (\beta z + \delta)^m f\left(\frac{\alpha z + \gamma}{\beta z + \delta}, \chi\right);$$

следовательно, отображение S осуществляет разложение представления $\mathfrak{E}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_\nu$ на неприводимые представления основной серии*.

При доказательстве этой теоремы используются предложения I и II. Отметим, что (5) — (7) можно формально получить из (5) — (7) в (1), если положить там $m_2 = 0$, $\sigma_2 = i\nu$; с другой стороны, формула для скалярного произведения функций $f(z, \chi)$ в (1) при $m_2 = 0$ получается формально из соответствующей формулы в данной статье, если в этой формуле положить $\nu = -i\sigma_2$, где σ_2 действительно.

Пусть X_1^+ обозначает совокупность всех $x \in X_1$ таких, что или $m > 0$, или $m = 0$ и $\sigma \geq 0$. Как и в случае представления $\mathfrak{E}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{E}_{m_2, \sigma_2}$ пространство \mathfrak{M} можно рассматривать как гильбертово пространство всех измеримых функций $f(z, \chi)$ и $Z \times X_1^+$ таких, что $\int_{Z \times X_1} |f(z, \chi)|^2 b(\chi) dz d\chi < \infty$, со скалярным произведением

$$(f_1, f_2) = 2 \int_{Z \times X_1^+} f_1(z, \chi) \overline{f_2(z, \chi)} b(\chi) d\chi.$$

Утверждения предыдущей теоремы остаются справедливыми и при такой реализации пространства \mathfrak{M} .

Московский физико-технический институт

Поступило
5 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Н а й м а р к, ДАН, 119, № 5, 872 (1958). ² М. А. Н а й м а р к, ДАН, 121, № 4, 590 (1958). ³ М. А. Н а й м а р к, Усп. матем. наук, 9, 4, 19 (1954). ⁴ М. А. Н а й м а р к, Линейные представления группы Лоренца, М., 1958.

* Таким образом, $\mathfrak{E}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{D}_\nu$, так же как и $\mathfrak{E}_{m_1, \sigma_1} \times \mathfrak{E}_{m_2, \sigma_2}$ разлагается только на представления основной серии.

Я. СИНАЙ

О ПОТОКАХ С КОНЕЧНОЙ ЭНТРОПИЕЙ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 16 I 1959)

§ 1. Рассмотрим поток (M, \mathfrak{S}, S^t) , где M — пространство Лебега с мерой μ ; \mathfrak{S} — σ -алгебра его измеримых множеств и S^t , $-\infty < t < \infty$, — действующая в этом пространстве группа сохраняющих меру преобразований (см. (2)). Для отдельных автоморфизмов этой группы можно ввести согласно (3) энтропию $h_{S\Delta} = h_S(\Delta)$. Во всех известных примерах зависимость этой функции от Δ оказывается линейной, но доказательство этого факта в общем случае отсутствует. Поэтому будем называть энтропией потока S^t

$$\sup_{\Delta > 0} \frac{h_S(\Delta)}{\Delta} = h_S.$$

Для вычисления энтропии потоков удобно пользоваться следующей теоремой, справедливой для произвольного автоморфизма T .

Теорема. Пусть дана последовательность разбиений $\{g_k\}$ такая, что $g_k \leq g_{k+1}$, $\prod_{k=1}^{\infty} \prod_{n=-\infty}^{\infty} \{T^n g^k\} = \varepsilon$, где ε — разбиение на отдельные точки и $h(g_k) < \infty$. Тогда

$$h_T = \lim_{k \rightarrow \infty} h_T(g_k).$$

Доказательство этой теоремы аналогично доказательству теоремы 1 в (3).

В настоящей заметке показывается, что существуют транзитивные потоки со счетнократным лебеговским спектром и любым конечным $h_S > 0$. Примеры потоков с $h_S = \infty$ тривиальны. Пример из § 3 был опубликован в работе А. Н. Колмогорова (1). Примеры § 2 также принадлежат Колмогорову.

§ 2. Рассмотрим марковский процесс, у которого фазовым пространством служат два отрезка A_1B_1 и A_2B_2 длины соответственно α и β . Внутри каждого отрезка происходит детерминированное движение слева направо с единичной скоростью. Из правого конца каждого отрезка (B_1 или B_2) с вероятностями $1/2, 1/2$ происходит скачок в точки A_1 или A_2 . Известно, что задание локальных характеристик движения вместе с указанием начального распределения определяет единственным образом меру в пространстве траекторий марковского процесса. Если взять в качестве начального распределения равномерное распределение на обоих отрезках, то получившийся марковский процесс будет стационарным.

Для вычисления энтропии получаемого таким образом потока нужно вычислить энтропию соответствующих ему автоморфизмов S^Δ . Разобьем отрезок A_1B_1 на отрезки длины $\alpha/2^k$. Отрезок A_2B_2 разобьем на отрезки той же длины $\alpha/2^k$, кроме, быть может, последнего. Мы получим всего $2^k \left[1 + \frac{\beta}{\alpha} + 1 \right]$ отрезков I_i^k . Пусть g^k есть разбиение всего пространства на множества G_i^k , образованные траекториями, находящимися в момент времени 0 в отрезках I_i^k . Легко видеть, что при $\Delta < \min(\alpha, \beta)$ последовательность разбиений g^k удовлетворяет условиям теоремы.

Рассмотрим, что происходит с множествами G_i^k при применении к ним преобразований $S^{\Delta n}$. Иными словами, нужно рассмотреть, как разбиваются множества G_i^k в зависимости от возможных положений траекторий марковского процесса в моменты времени $0, \Delta, \dots, n\Delta, \dots$. В случае детерминированного движения траекторий за время от 0 до Δ отдельное множество G_i^k разбивается на не более чем два множества. В случае множеств G_i^k , состоящих из траекторий, делающих скачок за время от 0 до Δ , множество G_i^k распадается на сумму двух множеств $G_{i_1}^k$ и $G_{i_2}^k$ условной меры по $1/2$ в зависимости от того, на каком из отрезков A_1B_1 или A_2B_2 траектория окажется в момент времени Δ . Дальнейшее изучение разбиения можно проводить для каждого из множеств $G_{i_1}^k$ и $G_{i_2}^k$ независимо. Некоторые множества G_i^k могут быть такими, что одна часть траекторий должна делать скачок за время от 0 до Δ , а другая часть движется детерминировано. Разбиение в этом случае является комбинацией предыдущих двух и ничем от них не отличается.

За n шагов множество G_i^k разобьется на отдельные подмножества в зависимости от числа скачков траекторий. Условная мера каждого такого подмножества равна $2^{-\nu}$, где ν — число скачков. Кроме того, каждое подмножество с фиксированным числом скачков разобьется еще на не более чем $(n+1)$ частей в зависимости от того, на какой из отрезков I_i^k траектория попадет после очередного шага.

Для вычисления энтропии остается указать, что из закона больших чисел следует, что для произвольно малого ε с вероятностью, большей $1 - \varepsilon$,

$$\frac{2}{\alpha + \beta} (1 - \delta) < \frac{\nu}{n\Delta} < \frac{2}{\alpha + \beta} (1 + \delta)$$

при любом δ и всех достаточно больших n . Поэтому

$$(1 - \varepsilon) \frac{2}{\alpha + \beta} (1 - \delta) \leq \frac{H\left(\prod_{i=0}^n T^{i\Delta} g^k\right)}{n\Delta} \leq$$

$$\leq \varepsilon \cdot 2^k \left(2 + \frac{\beta}{\alpha}\right) + \frac{2}{\alpha + \beta} (1 + \delta) + \frac{\log(n+1)}{n\Delta} - \frac{\varepsilon \log \varepsilon + (1 - \varepsilon) \log(1 - \varepsilon)}{n\Delta}.$$

Устремляя n к бесконечности, затем ε, δ к нулю, получим, что

$$h_{S\Delta}(g^k) = \frac{2\Delta}{\alpha + \beta}.$$

Следует отметить, что равенство

$$h_{S\Delta}(g^k) = \frac{2\Delta}{\alpha + \beta}$$

справедливо при любом k . Если α и β несоизмеримы, то разбиение g^k является образующим при любом k , и мы получаем пример автоморфизма с конечным числом образующих, вкладывающегося в поток.

Что касается спектра, то нетрудно показать, что в случае несоизмеримых α и β спектр будет счетнократным лебеговским*. Таким образом, рассмотренные потоки доставляют нам примеры динамических систем, спектрально изоморфных, а метрически неизоморфных.

§ 3. Рассмотрим пример потока, опубликованный в работе (1). Он представляет собой марковский процесс, у которого фазовым пространством является счетная совокупность отрезков $\Gamma_i = \{A_i, B_i\}$ длины $u/2^i$. На каж-

* Этот результат получен также Гирсановым.

дом отрезке происходит детерминированное движение слева направо с единичной скоростью до правого конца отрезка, из которого с вероятностью $1/2^j$ совершается скачок в точку A_j . Стационарное распределение следующее: вероятность выбора l -го отрезка равна $3/4^l$, а на l -м отрезке распределение равномерное.

Разделим каждый отрезок на отрезки I_i^k длины $u/2^k$, если такое деление возможно. Остальные отрезки оставим без изменения. Пусть h^k есть разбиение на траектории, находящиеся в начальный момент времени в отрезках I_i^k . Обозначим через $M_{i_1 i_2 \dots i_l}$ совокупность траекторий, которые за время от $-\Delta$ до 0 находились полностью на отрезках $\Gamma_{i_1}, \dots, \Gamma_{i_l}$. Для этого, очевидно, необходимо, чтобы $\frac{u}{2^{i_1}} + \frac{u}{2^{i_2}} + \dots + \frac{u}{2^{i_l}} < \Delta$. Пусть M_0 — множество траекторий, которые за время от $-\Delta$ до 0 не претерпели более одного скачка. Обозначим через m разбиение пространства на множества $M_{i_1 i_2 \dots i_l}$ и M_0 . Пусть $g^k = m \cdot h^k$. Тогда последовательность разбиений g^k удовлетворяет условиям теоремы § 1.

Разбиение множеств G_i^k со временем происходит вполне аналогично рассмотренному § 2. При фиксации порядка скачков мы получаем разбиение G_i^k на множества, условная мера которых равна

$$p = 2^{-v_1 - v_2 - \dots - v_k},$$

где v_1, \dots, v_k — номера отрезков, на которых траектория оказывается после очередных скачков. Из закона больших чисел следует, что с вероятностью $1 - \varepsilon$ число скачков k удовлетворяет неравенству

$$\frac{3}{u} (1 - \delta) \leq \frac{k}{n\Delta} \leq \frac{3}{u} (1 + \delta),$$

а вероятности соответствующих скачков неравенству

$$\frac{6}{u} (1 - \delta_1) \leq -\frac{\log p}{n\Delta} \leq \frac{6}{u} (1 + \delta_1).$$

Каждое множество с фиксированным порядком скачков разбивается еще на не более чем $k + n + 1$ частей в зависимости от положения траекторий в моменты $i\Delta$. Поэтому

$$\begin{aligned} (1 - \varepsilon) \frac{6}{u} (1 - \delta_1) &\leq \frac{H\left(\prod_{i=0}^n S^{i\Delta} g^k\right)}{n\Delta} \leq \\ &\leq \varepsilon f(k) + \frac{6}{u} (1 + \delta_1) + \frac{\log n \left(1 + \Delta \frac{3}{u} (1 + \delta)\right)}{n\Delta} - \frac{\varepsilon \log \varepsilon + (1 - \varepsilon) \log (1 - \varepsilon)}{n\Delta}, \end{aligned}$$

где $f(k)$ — энтропия начального распределения g^k . Устремим n к бесконечности, а $\varepsilon, \delta, \delta_1$ к нулю. Получим, что $\frac{1}{\Delta} h_{S\Delta}(g^k) = \frac{6}{u}$. Следовательно, $h_S = 6/u$.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность А. Н. Колмогорову за руководство при выполнении настоящей работы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
16 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Колмогоров, ДАН, 119, № 5 (1958). ² В. А. Рохлин, Усп. матем. наук, 4, 2 (30) (1949). ³ Я. Синай, ДАН, 124, № 4 (1959).

С. Н. ШИМАНОВ

О ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 I 1959)

В работах Н. Н. Боголюбова, И. Г. Малкина и Г. И. Бирюк были получены общие предложения о существовании почти периодических колебаний для нелинейных систем, движение которых описывается обыкновенными нелинейными дифференциальными уравнениями с малым параметром (1^{-3}). В настоящем сообщении устанавливается предложение о существовании почти периодических колебаний в нелинейных системах, движение которых описывают дифференциальные уравнения с постоянным запаздыванием.

Рассмотрим систему вида

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{j=1}^k a_j x(t - \tau_j) + \varepsilon F(t, x(t - \tau_1), \dots, x(t - \tau_k), \varepsilon), \quad (1)$$

где $x(t)$ — n -мерный вектор, a_j — постоянная квадратная n -мерная матрица.

Все корни характеристического уравнения

$$\left| \sum_{j=1}^k a_j e^{-\lambda \tau_j} - E\lambda \right| = 0 \quad (2)$$

удовлетворяют условию

$$\operatorname{Re} \lambda_i < -2\alpha < 0; \quad (3)$$

ε — малый параметр, τ_1, \dots, τ_k — положительные постоянные ($\tau_1 = 0$), характеризующие запаздывание по времени t в элементах системы; α — положительная постоянная.

Функции $F(t, x_1, \dots, x_k, \varepsilon)$ удовлетворяют следующим условиям:

1) $F(t, x_1, \dots, x_k, \varepsilon)$ — почти периодические функции переменной t равномерно по отношению к $x_1, \dots, x_k \in D(R)$: $|x_i| \leq R$ ($i = 1, \dots, k$), $|x_i| = |x_{i1}| + \dots + |x_{in}|$ и по отношению к $\varepsilon \in D_\varepsilon$: $|\varepsilon| \leq \varepsilon_1$.

2) Функции $F(t, x_1, \dots, x_k, \varepsilon)$ в области DD_ε удовлетворяют условию Липшица по переменным x , так что если $x'_1, \dots, x'_k, x''_1, \dots, x''_k$ — $2k$ произвольных точек области $D(R)$, то имеют место неравенства

$$\begin{aligned} |F(t, x''_1, \dots, x''_k, \varepsilon) - F(t, x'_1, \dots, x'_k, \varepsilon)| < \\ < L \{|x''_1 - x'_1| + \dots + |x''_k - x'_k|\}, \end{aligned}$$

и непрерывны по отношению к $\varepsilon \in D_\varepsilon$; L — постоянная.

Теорема 1. Если все корни характеристического уравнения (2) имеют отрицательные вещественные части, удовлетворяющие условию (3), то можно указать такое $\varepsilon^*(R)$, что для любого $|\varepsilon| < \varepsilon^*(R)$ система (1) при выполнении условий 1) и 2) имеет единственное почти периодическое решение $x(t, \varepsilon)$, лежащее в области $D(R)$.

Эта теорема является обобщением теоремы Г. И. Бирюк ⁽³⁾ на системы с запаздыванием. Можно также обобщить на нелинейные системы с запаздыванием и теорему И. Г. Малкина ⁽²⁾ для более общего вида нелинейных систем, а именно, рассмотрим систему

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{j=1}^k a_j x(t - \tau_j) + X(t, x(t - \tau_1), \dots, x(t - \tau_k)) + \varepsilon F(t, x(t - \tau_1), \dots, x(t - \tau_k), \varepsilon). \quad (4)$$

Эта система обращается в систему (1) при $X \equiv 0$. Относительно функций X предполагаем, что они удовлетворяют условию Липшица вида

$$3) \quad |X(t, x_1'', \dots, x_k'') - X(t, x_1', \dots, x_k')| < < q(R) \{|x_1'' - x_1'| + \dots + |x_k'' - x_k'|\},$$

где $[q(R) > 0$ и $q(R) \rightarrow 0$ при $R \rightarrow 0$; $x_1'', \dots, x_k'', x_1', \dots, x_k'$ — $2k$ точек, расположенных в области $D(R)$: $|x| \leq R$.

Теорема 2. Если корни характеристического уравнения (2) имеют отрицательные вещественные части, удовлетворяющие условию (3), то можно указать такие малые ε^* , R^* , что для любого $|\varepsilon| < \varepsilon^*$ система (4) при выполнении условий 1), 2), 3) имеет единственное почти периодическое решение $x(t, \varepsilon)$, лежащее в области $D(R^*)D_{\varepsilon^*}$.

Доказательство основывается на следующей лемме. Рассмотрим систему линейных неоднородных уравнений с запаздыванием вида

$$\frac{dx(t)}{dt} = \sum_{j=1}^k a_j x(t - \tau_j) + f(t). \quad (5)$$

Однородная часть этой системы совпадает с системой (1) при $\varepsilon = 0$. $f(t)$ — почти периодическая n -мерная функция.

Лемма. Если все корни характеристического уравнения (2) удовлетворяют условию (3), то система (5) допускает единственное почти периодическое решение $x^*(t)$, которое удовлетворяет неравенству

$$|x^*(t)| < MA, \quad (6)$$

где M — верхний предел функции $|f(t)|$; A — положительная постоянная, не зависящая от вида функции $f(t)$, а зависящая от коэффициентов a_j и τ однородной системы (5).

Доказательство. Так как система (5) допускает единственное формальное решение в виде рядов Фурье, то эта система может допускать единственное почти периодическое решение.

Частное решение системы (5), определенное при значениях $t \geq \tau$ ($\tau = \max(\tau_1, \dots, \tau_k)$), может быть представлено в виде

$$x_0(t) = \int_{-\infty}^t u(t - t_1 + \tau) f(t_1) dt_1, \quad (7)$$

где $u(t)$ — n -мерная квадратная матрица, состоящая из n частных решений однородной системы уравнений

$$\frac{du}{dt} = \sum_{j=1}^k a_j u(t - \tau_j) \quad (8)$$

с начальными функциями φ вида

$$u(t) = \varphi(t) = \begin{cases} E, & t = \tau, \\ 0, & t < \tau; \end{cases} \quad (9)$$

E — единичная матрица.

Известно, что при начальных функциях $|\varphi| < c$ любое частное решение системы (8) с начальными условиями (9) будет удовлетворять неравенству

$$|u(t)| < CKe^{-\alpha t}, \quad t \geq \tau, \quad (10)$$

где K — некоторая положительная постоянная, зависящая от коэффициентов системы (8). Возьмем произвольное t ($t > \tau$) и произвольное малое число $\eta > 0$; тогда найдется такое $T(\eta)$, что $|f(t + T(\eta)) - f(t)| < \eta$ в силу почти периодичности функции $f(t)$. Найдём

$$\begin{aligned} & |x_0(t + T(\eta)) - x_0(t)| \leq \\ & \leq \left| \int_{-\infty}^{t+T(\eta)} u(t + T(\eta) - t_1 + \tau) f(t_1) dt_1 - \int_{-\infty}^t u(t - t_1 + \tau) f(t_1) dt_1 \right| \leq \\ & \leq \int_{-\infty}^t |u(t - t_1 + \tau)| \cdot |f(t_1 + T(\eta)) - f(t_1)| dt_1 < \eta CK \frac{1}{\alpha}, \end{aligned}$$

$T_i(\eta)$ может быть произвольно большим.

Таким образом, решение (7) будет почти периодическим при изменении t в направлении возрастания с положительным почти периодом $T(\eta)$, который может быть и отрицательным, если только выполнено условие $t + T(\eta) \geq \tau$.

Допустим сначала, что $f(t)$ — тригонометрические конечные суммы. Тогда почти периодическое решение системы (5) можно найти в виде конечных тригонометрических сумм. Обозначим его через $x^*(t)$. Решение $x^*(t)$ при $t \geq \tau$ определяется формулой (7). В самом деле, если мы допустим, что при $t \geq \tau$ $x^*(t) - x_0(t) \neq 0$, то среди решений однородной системы (8) найдется одно частное решение $x^*(t) - x_0(t)$, не убывающее по закону $e^{-\alpha t}$, а почти периодическое вправо. Это противоречит предположению о корнях характеристического уравнения (2). Поэтому $x^*(t) \equiv x_0(t)$ при $t \geq \tau$.

Покажем теперь, что решение $x^*(t)$ допускает оценку (6) при всех t в интервале $(-\infty, +\infty)$. В самом деле, при $t \geq \tau$ имеем

$$|x^*(t)| = |x_0(t)| < M \frac{CK}{\alpha} = AM \quad \left(A = \frac{CK}{\alpha} \right).$$

Покажем, что эта оценка будет справедлива при $t < \tau$. Допустим противное: при некотором $t = t' < \tau$ $|x^*(t')| = MA + \eta$, $\eta > 0$. Тогда мы можем найти такое число $T(\eta/2) > 0$, что $|x^*(t + T(\eta/2)) - x^*(t)| < \eta/2$ и $t' + T(\eta/2) > \tau$. Имеем

$$|x^*(t')| \leq \left| x^*(t') - x^*\left(t' + T\left(\frac{\eta}{2}\right)\right) \right| + \left| x^*\left(t' + T\left(\frac{\eta}{2}\right)\right) \right| < \frac{\eta}{2} + MA.$$

Отсюда $\eta = 0$. Таким образом, оценка (6) справедлива для всех t в случае, когда $f(t)$ — конечные тригонометрические суммы.

Теперь уже нетрудно доказать существование и оценку (6) почти периодического решения для системы (5), когда $f(t)$ — почти периодические функции.

Для этого составим последовательность конечных тригонометрических сумм $S_N(t)$ Бохнера — Файера, равномерно сходящуюся к функциям $f(t)$. Заменив в уравнениях (5) $f(t)$ на $S_N(t)$, найдём единственное почти периодическое решение $x_N(t)$. Если $|S_N(t) - S_{N'}(t)| < \varepsilon$, то $|x_N(t) - x_{N'}(t)| < A\varepsilon$. Отсюда следует, что последовательность почти периодических функций $x_N(t)$ равномерно сходится к некоторой почти периодической функции $x^*(t)$. Легко показать обычным в этих случаях способом,

что $x^*(t)$ будет почти периодическим решением системы (5). Это решение будет единственным, и оно удовлетворяет неравенству (6). В самом деле

$$|x^*(t)| \leq |x^*(t) - x_N(t)| + |x_N(t)| < |x^*(t) - x_N(t)| + AM_N,$$

где $M_N > |S_N(t)|$. Переходя к пределу при $N \rightarrow \infty$, получим оценку (6).

Будем строить почти периодическое решение системы (4) методом последовательных приближений. Полагая $x^{(0)} = 0$, m -е приближение найдем из системы уравнений

$$\frac{dx^{(m)}(t)}{dt} = \sum_{j=1}^k a_j x^{(m)}(t - \tau_j) + X(t, x^{(m-1)}(t - \tau_1), \dots, x^{(m-1)}(t - \tau_m)) + \varepsilon F(t, x^{(m-1)}(t - \tau_1), \dots, x^{(m-1)}(t - \tau_k), \varepsilon).$$

Легко находим, что все приближения будут расположены в области $D(R)$, если будет выполнено условие $Ak(q(R) + \varepsilon L)n < 1$, при выполнении которого ряды $x^{(0)} + (x^{(1)} - x^{(0)}) + (x^{(2)} - x^{(1)}) + \dots$ будут сходиться равномерно и абсолютно к функции $x(t, \varepsilon) \in D(R^*)D_{\varepsilon^*}$. Эти функции будут почти периодическим решением системы (4), непрерывным относительно ε .

R^* и ε^* определяют область существования решения. Они должны удовлетворять условию

$$Ak(q(R^*) + \varepsilon^* L)n < 1.$$

В случае, когда $X \equiv 0$, для системы (1) имеем $q(R) \equiv 0$, поэтому $\varepsilon^* < \frac{1}{LkAn}$.

Замечание. Решение $x(t, \varepsilon)$ будет асимптотически устойчивым при $t \rightarrow +\infty$ для достаточно малых ε^* и R^* и начальных функций (4) для возмущенного движения на интервале $(0, \tau)$. Это вытекает из того, что для системы возмущенного движения в качестве системы первого приближения может быть взята система (8) ⁽⁴⁾.

Уральский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Боголюбов, О некоторых статистических методах в математической физике. Изд. АН УССР, 1945. ² И. Г. Малкин, Некоторые задачи теории нелинейных колебаний, ГИТТЛ, 1956. ³ Г. И. Бирюк, ДАН, 96, № 1 (1954). ⁴ Ю. М. Репин, Прикладн. матем. и мех., 21, в. 2, 253 (1957).

Н. Н. ЯНЕНКО

ОБ ОДНОМ РАЗНОСТНОМ МЕТОДЕ СЧЕТА МНОГОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 8 I 1959)

1. В работе (1) был рассмотрен метод приведения многомерных разностных схем к двумерным в применении к явным схемам, аппроксимирующим гиперболические системы (такой метод в дальнейшем будем называть методом расщепления). В настоящей заметке мы покажем на примере уравнения теплопроводности, что метод расщепления может быть применен для получения простых устойчивых и сходящихся неявных схем.

Рассмотрим многомерное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Lu = a^2 \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2}, \quad (1,1)$$

для которого в прямоугольной области Π , определяемой неравенствами

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad 0 \leq t \leq T, \quad i = 1, \dots, m, \quad (1,2)$$

может быть поставлена смешанная задача.

$$u(x_1, \dots, x_m, 0) = \varphi(x_1, \dots, x_m); \quad (1,3)$$

$$\begin{aligned} u(x_1, \dots, x_{s-1}, 0, x_{s+1} \dots x_m) &= f_s(x_1, \dots, x_{s-1}, x_{s+1}, \dots, x_m, t), \\ u(x_1, \dots, x_{s-1}, 1, x_{s+1}, \dots, x_m) &= g_s(x_1, \dots, x_{s-1}, x_{s+1}, \dots, x_m, t). \end{aligned} \quad (1,4)$$

Задаче (1,1)—(1,4) может быть поставлена в соответствие следующая разностная схема:

$$\frac{u_{i_1 \dots i_m}^{n+1} - u_{i_1 \dots i_m}^n}{\tau} = \Lambda \left[\frac{1-\alpha}{2} u_{i_1 \dots i_m}^{n+1} + \frac{1+\alpha}{2} u_{i_1 \dots i_m}^n \right],$$

$$\Lambda u_{i_1 \dots i_m}^n = \sum_{s=1}^m \Lambda_s u_{i_1 \dots i_m}^n, \quad (1,1')$$

$$\Lambda_s u_{i_1 \dots i_m}^n = \frac{u_{i_1 \dots i_{s-1} \dots i_m}^n - 2u_{i_1 \dots i_m}^n + u_{i_1 \dots i_{s+1} \dots i_m}^n}{h_s^2},$$

$$u_{i_1 \dots i_m}^0 = \varphi_{i_1 \dots i_m}; \quad (1,3')$$

$$u_{i_1 \dots i_{s-1} \dots i_m}^n = f_{s \dots i_1 \dots i_{s-1}, i_{s+1} \dots i_m}^n, \quad (1,4')$$

$$u_{i_1 \dots i_{s-1}, i_{s+1}, i_{s+1} \dots i_m}^n = g_{s \dots i_1 \dots i_{s-1}, i_{s+1} \dots i_m}^n$$

где положено

$$u_{i_1 \dots i_m}^n = u(x_1, x_2, \dots, x_m, t), \quad (1,5)$$

$$x_s = i_s h_s, \quad t = n\tau, \quad i_s = 0, 1, \dots, N_s + 1, \quad (N_s + 1)h_s = 1.$$

При $\alpha = 1$ получаем явную схему с временным интегрированием по Эйлера, при $\alpha = -1, 0$ получаем неявные схемы с временным интегрированием по Эйлера с опережением и по трапеции соответственно.

Покажем, что схема $(1,1')-(1,4')$ аппроксимируется схемой

$$\frac{u_{i_1 \dots i_m}^{n+s/m} - u_{i_1 \dots i_m}^{n+(s-1)/m}}{\tau} = \Lambda_s \left[\frac{1-\alpha}{2} u_{i_1 \dots i_m}^{n+s/m} + \frac{1+\alpha}{2} u_{i_1 \dots i_m}^{n+(s-1)/m} \right]; \quad (1,1'')$$

$$u_{i_1 \dots i_m}^0 = \varphi_{i_1 \dots i_m}; \quad (1,3'')$$

$$u_{i_1 \dots i_{s-1} 0 i_{s+1} \dots i_m}^{n+s/m} = f_{s i_1 \dots i_{s-1} i_{s+1} \dots i_m}^n, \quad (1,4'')$$

$$u_{i_1 \dots i_{s-1}, N_s+1, i_{s+1} \dots i_m}^{n+s/m} = g_{s i_1 \dots i_{s-1} i_{s+1} \dots i_m}^n.$$

Ввиду однородности схемы $(1,1')-(1,4')$, $(1,1'')-(1,4'')$ в дальнейшем обозначаем

$$u_{i_1 \dots i_m}^{n+s/m} = u^{s/m}, \quad s = 0, 1, \dots, m. \quad (1,6)$$

Уравнения $(1,1')$, $(1,1'')$ примут вид

$$Au^1 - Bu^0 = 0, \quad (1,7)$$

соответственно

$$A_s u^{s/m} - B_s u^{(s-1)/m} = 0, \quad s = 1, \dots, m, \quad (1,8)$$

где

$$A_s = E + \tau a_s, \quad B_s = E + \tau b_s, \quad A = E + \tau a, \quad B = E + \tau b; \quad (1,9)$$

$$a = \sum_{s=1}^m a_s, \quad b = \sum_{s=1}^m b_s, \quad a_s = \frac{\alpha-1}{2} \Lambda_s, \quad b_s = \frac{1+\alpha}{2} \Lambda_s. \quad (1,10)$$

Нетрудно видеть, что операторы Λ_s , A_s , B_s перестановочны:

$$[\Lambda_s \Lambda_{s'}] = [A_s A_{s'}] = [B_s B_{s'}] = [A_s B_{s'}] = 0, \quad s, s' = 1, \dots, m. \quad (1,11)$$

Умножая первое равенство (1,8) на A_2 , второе на B_1 и пользуясь перестановочностью операторов A_s , $B_{s'}$, имеем

$$A_1 A_2 u^{2/m} - B_1 B_2 u^0 = 0.$$

Продолжая аналогично дальше, получаем

$$A_1 \dots A_m u^1 - B_1 \dots B_m u^0 = 0. \quad (1,12)$$

Пользуясь представлением (1,9), (1,10), уравнение (1,12) преобразуем к виду

$$Au^1 - Bu^0 + \tau^2 \left[\sum a_{s_1} a_{s_2} u^1 - \sum b_{s_1} b_{s_2} u^0 \right] + \quad (1,13)$$

$$+ \tau^3 \left[\sum a_{s_1} a_{s_2} a_{s_3} u^1 - \sum b_{s_1} b_{s_2} b_{s_3} u^0 \right] + \dots + \tau^n [(a_1 \dots a_m) u^1 - (b_1 \dots b_m) u^0] = 0.$$

Из (1,13) следует, что схема (1,1'') и эквивалентная ей схема (1,13) аппроксимирует уравнение (1,1) с той же точностью, что и схема (1,1'). Докажем устойчивость схемы (1,1''). Операторы A_s, B_s с учетом краевых условий (1.4) имеют собственные функции

$$v_{p_s} = \sin p_s \pi x_s, \quad p_s = 1, \dots, N_s. \quad (1,14)$$

Операторы $A_1, \dots, A_m, B_1, \dots, B_m$ имеют собственные функции

$$v_{p_1 \dots p_m} = v_{p_1} v_{p_2} \dots v_{p_m} = \prod_{s=1}^m \sin p_s \pi x_s. \quad (1,15)$$

Собственными значениями операторов $A_1 A_2 \dots A_m, B_1 B_2 \dots B_m$ будут

$$\lambda_{p_1 \dots p_m} = \prod_{s=1}^m [1 + 2 r_s (1 - \alpha) \sin^2 p_s \pi h_s] \quad (1,16)$$

соответственно

$$\mu_{p_1 \dots p_m} = \prod_{s=1}^m [1 - 2 r_s (1 + \alpha) \sin^2 p_s \pi h_s], \quad (1,17)$$

где

$$r_s = \tau a^2 / h_s^2.$$

Полагая

$$u^0 = a_0 v_{p_1 \dots p_m}, \quad u^1 = a_1 v_{p_1 \dots p_m} \quad (1,18)$$

и подставляя (1,18) в (1,12), получаем

$$\varrho_{p_1 \dots p_m} = \frac{a_1}{a_0} = \frac{\mu_{p_1 \dots p_m}}{\lambda_{p_1 \dots p_m}}. \quad (1,19)$$

Нетрудно видеть, что при любых $r, h_s, p_s, u - 1 \leq \alpha \leq 0$

$$|\varrho_{p_1 \dots p_m}| \leq 1. \quad (1,20)$$

Таким образом, схема (1,1'') устойчива.

Учитывая, что при фиксированном r произвольных h_1, \dots, h_m и $-1 \leq \alpha \leq 0$

$$|\lambda_{p_1 \dots p_m}| > 1, \quad (1,21)$$

видим, что решение задачи (1,1'')—(1,4'') сходится в среднем к решению задачи (1,1)—(1,4) с порядком интегральной точности $O(\tau)$ (см. (2)).

2. Установленный результат остается в силе для операторов L, Λ (расщепляющиеся операторы), удовлетворяющих условиям:

1) Операторы L, Λ имеют вид

$$L = \sum_{s=1}^m L_s, \quad L_s = \sum_{\alpha=0}^{p_s} a_{s\alpha} D_s^\alpha, \quad D_s = \frac{\partial}{\partial x_s}, \quad s = 1, \dots, m, \quad (2,1)$$

$$\Lambda = \sum_{s=1}^m \Lambda_s, \quad \Lambda_s = \sum_{\alpha=-m_s}^{n_s} b_{s\alpha} T_s^\alpha, \quad (2,2)$$

где m_s, n_s — целые, T_s — оператор сдвига

$$T_s u(x_1, \dots, x_m) = u(x_1, \dots, x_s + h_s, \dots, x_m). \quad (2,3)$$

Оператор Λ аппроксимирует L с точностью $O(\tau^{1+\alpha}), \alpha > 0$.

2) Схема

$$\frac{u^{n+1} - u^n}{\tau} = \frac{1 - \alpha}{2} \Lambda_s u^{n+1} + \frac{1 + \alpha}{2} \Lambda_s u^n \quad (2,4)$$

или эквивалентная ей схема

$$A_s u^{n+1} - B_s u^n = 0; \quad (2,5)$$

$$A_s = E + \tau a_s, \quad B_s = E + \tau b_s, \quad a_s = \frac{\alpha - 1}{2} \Lambda_s, \quad b_s = \frac{1 + \alpha}{2} \Lambda_s \quad (2,6)$$

устойчива.

3) Собственные значения λ_{r_s} операторов A_s ограничены по модулю снизу

$$|\lambda_{p_s}| > k > 0, \quad p_s = 1, \dots, N_s. \quad (2,7)$$

При удовлетворении этих условий схема

$$A_s u^{s/m} - B_s u^{(s-1)/m} = 0 \quad (2,8)$$

будет устойчивой и сходящейся в среднем с интегральной точностью $O(\tau^s)$.

Поступило
23 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. А. Багриновский, С. К. Годунов, ДАН, 115, № 3, 431 (1957).
- ² J. Douglas, J. Soc. Ind. Appl. Math., 4, № 1, March (1956).

С. В. ИОРДАНСКИЙ

ОБ АСИМПТОТИКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ РАСХОДЯЩЕЙСЯ ВОЛНЫ В ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 31 XII 1958)

Волнам в несжимаемой тяжелой жидкости посвящены многочисленные исследования (см., например, ⁽¹⁾). Среди известных решений для волн конечной амплитуды особое место занимает так называемая уединенная волна — единственная волна, форма которой не меняется со временем при условии покоя жидкости на бесконечности. В настоящей заметке исследуется асимптотический вид расходящейся волны (предполагается осевая симметрия) на больших расстояниях от оси симметрии. Глубина жидкости предполагается конечной.

Приближенные уравнения для длинных волн малой амплитуды в жидкости постоянной глубины были выведены Рэлеем ⁽¹⁾. Специально проведенные математические исследования подтвердили их справедливость ⁽²⁾. В работах ^(3, 4) обосновывается вывод аналогичных уравнений для нестационарного случая. Приведем здесь кратко вывод этих уравнений.

Для потенциала скоростей (мы предполагаем потенциальность движения) имеем

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + \Delta \varphi = 0 \quad \left(\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right)$$

(ось z направлена вертикально вверх).

Граничное условие на дне (мы предполагаем дно плоским)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = 0.$$

На свободной поверхности $z = \zeta(x, y, t)$ должны быть выполнены условия

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \varphi)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 + g\zeta = F(t) \quad (\text{уравнение Бернулли});$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \zeta \cdot \nabla \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (\text{кинематическое условие}).$$

Здесь ∇ — градиент на плоскости x, y .

Искомые уравнения получаются с помощью разложения φ по степеням z . Из уравнения Лапласа получаем, используя условие на дне:

$$\varphi = \varphi_0(x, y, t) - \frac{1}{2} z^2 \Delta \varphi_0 + \frac{1}{24} z^4 \Delta \Delta \varphi_0 + \dots \quad (1)$$

Так как $z \ll \zeta$, то это представление для φ справедливо, если характерная длина L в плоскости x, y (ее можно назвать длиной волны) много больше ζ , что мы и будем предполагать в дальнейшем.

Удобно пользоваться безразмерными переменными

$$x' = x/h, y' = y/h, z' = z/h, \zeta' = \zeta/h, t' = t\sqrt{g/h}, \varphi' = \varphi_0/h\sqrt{gh}.$$

Штрихи в дальнейшем будем опускать. Будем предполагать, что $\zeta = 1 + \eta$, где $\eta \ll 1$, и сохраним в наших уравнениях только члены первых двух порядков по η и по h^2/L^2 . Пользуясь представлением (1) и граничными условиями на свободной поверхности, исключая из них η , находим приближенное уравнение для φ

$$\left(-\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \Delta \varphi\right) - 2\nabla \varphi \cdot \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Delta \varphi + \frac{1}{2} \Delta \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \frac{1}{6} \Delta \Delta \varphi + \\ + O\left(\Delta^3 \varphi, \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Delta \Delta \varphi\right) = 0, \quad (2)$$

где $O(x, y)$ — главные члены из не учтенных в уравнении (2).

Будем искать волны, удовлетворяющие сделанным предположениям о малости η и h^2/L^2 , форма которых асимптотически устойчива при $t \rightarrow \infty$, используя полученное приближенное уравнение для φ .

Рассмотрим сначала случай волн в канале $\varphi = \varphi(x, t)$. Так как члены в скобках в уравнении (1) являются главными, то в первом приближении существуют бегущие волны произвольной формы $\varphi_1 = f(x - t)$. Положим $\varphi = f(x - t) + \varphi_2$, где φ_2 — величина более высокого порядка малости, чем f , и будем искать поправку методом последовательных приближений. Переходя к переменным $\xi = x - t$, $\eta = x + t$, получим в следующем приближении

$$4 \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \xi \partial \eta} + 3 \frac{df}{d\xi} \frac{d^2 f}{d\xi^2} + \frac{1}{3} \frac{d^4 f}{d\xi^4} = 0.$$

Легко видеть, что в φ_2 появляется вековой член, который неограниченно растет с ростом η . Таким образом, члены следующего порядка в уравнении (2) за достаточно большой промежуток времени могут совершенно изменить вид первоначальной бегущей волны. Для того чтобы форма бегущей волны была устойчивой, функция f должна удовлетворять дифференциальному уравнению

$$3 \frac{df}{d\xi} \frac{d^2 f}{d\xi^2} + \frac{1}{3} \frac{d^4 f}{d\xi^4} = 0, \quad (3)$$

т. е. известному уравнению для определения скорости в уединенной волне; его решение, ограниченное при $\xi \rightarrow \pm \infty$, имеет вид

$$\frac{df}{d\xi} = \frac{v_\infty}{2} \left\{ 1 - 3 \left[\text{th} \left(\frac{3}{4} \sqrt{\frac{3}{2} v_\infty \xi} \right) \right]^2 \right\}$$

и зависит от произвольной положительной постоянной v_∞ .

Если мы перейдем к новой системе координат, движущейся со скоростью — v_∞ относительно старой, так чтобы скорость жидкости равнялась нулю на бесконечности, то получим

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = \frac{3}{2} v_\infty \left\{ \text{ch} \left[\frac{3}{4} \sqrt{\frac{3}{2} v_\infty} (x - t - v_\infty t) \right] \right\}^{-2}. \quad (4)$$

Это единственная устойчивая форма длинных волн с малой амплитудой и равной нулю скоростью жидкости на бесконечности (если пренебречь членами более высокого порядка по v_∞ в выражении для $\partial \varphi / \partial x$).

В случае осевой симметрии уравнение (1) имеет вид (r — расстояние в плоскости x, y до оси симметрии)

$$\left(-\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}\right) - 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial r^2 \partial t^2} - \frac{1}{6} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial r^4} + \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \frac{\partial \varphi}{\partial r} - \frac{1}{3r} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial r^3} + \frac{1}{6r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - \frac{1}{6r^3} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + O\left(\Delta^3 \varphi, \frac{\partial \varphi}{\partial t} \Delta^2 \varphi\right) = 0.$$

Так как нас интересует асимптотика при больших r , то не все из оставленных членов имеют одинаковый порядок. Для того чтобы найти главные члены, удобно перейти к переменным $\xi = r - t$ и $\eta = r + t$ и рассматривать асимптотику при $\eta \gg \xi$. Из общих соображений ясно, что φ должна убывать с ростом η . Поэтому будем считать, что $\partial\varphi/\partial\xi \gg \partial\varphi/\partial\eta$. Оставляя только младшие члены, получим

$$4 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi \partial \eta} + 3 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{1}{3} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial \xi^4} + \frac{2}{\eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + O\left(\frac{\partial^4 \varphi}{\partial \xi^3 \partial \eta}, \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2}, \frac{\partial^6 \varphi}{\partial \xi^6}, \frac{1}{\eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \frac{\partial^4 \varphi}{\partial \xi^4}\right) = 0. \quad (5)$$

($O(x_i)$ указывает порядок отброшенных членов).

Решая это уравнение последовательными приближениями, получим в первом приближении $\varphi_1 = f(\xi)$, однако теперь никаким выбором $f(\xi)$ невозможно избежать появления в φ_2 слагаемого, пропорционального $\ln \eta$, связанного с наличием в уравнении (5) члена $2 \partial\varphi/\eta \partial\xi$. Поэтому будем считать, что $\varphi_1 = f(\alpha, \eta)$, где α уже не совпадает с ξ : $\alpha = \xi + \alpha_1(\xi, \eta) + \dots$. Учет зависимости α и f от η приводит к появлению в уравнении (5) малых диссиплятивных членов; исходя из формулы (4), можно ожидать, что $\alpha_{1\eta} = \partial\alpha_1/\partial\eta$ порядка $\psi = \partial\varphi/\partial\xi$; это мы и предположим в дальнейшем. Тогда, сгруппировав младшими членами, получим уравнение для $\psi(\alpha, \eta)$

$$4 \alpha_{1\eta} \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} + 3 \psi \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} + \frac{1}{3} \frac{\partial^3 \psi}{\partial \alpha^3} + \frac{2}{\eta} \psi + 4 \frac{\partial \psi}{\partial \eta} + O\left(\alpha_{1\xi} \frac{\partial \psi}{\partial \alpha} \psi, \frac{\partial^5 \psi}{\partial \alpha^5}, \dots\right) = 0. \quad (6)$$

Приравняв нулю члены младшего порядка, находим уравнение

$$4 \alpha_{1\eta} \frac{\partial \psi_1}{\partial \alpha} + 3 \psi_1 \frac{\partial \psi_1}{\partial \alpha} + \frac{1}{3} \frac{\partial^3 \psi_1}{\partial \alpha^3} = 0,$$

в котором η входит как параметр. Нас интересует решение этого уравнения, обращающееся в нуль на бесконечности (так как жидкость покоится перед волной). Если мы предположим, что $\alpha_{1\eta} \equiv \alpha_{1\eta}(\eta)$, то без труда найдем единственное решение, удовлетворяющее этому условию:

$$\frac{\partial \psi_1}{\partial \xi} = \psi_1 = -2 \alpha_{1\eta} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{3}{4} \alpha \sqrt{-2 \alpha_{1\eta}} \right) \right]^{-2},$$

типа уединенной волны; отметим, что должно быть $\alpha_{1\eta} < 0$.

Однако для того, чтобы поправка следующего порядка для φ была действительно малой по сравнению с φ_1 , $\alpha_{1\eta}$ должна быть определенной функцией η ; легко видеть, что для этого в уравнении (6) должны исчезнуть члены порядка ψ_1/η . Так как в выражении для $\partial\psi_1/\partial\eta = \alpha_{1\eta\eta}\psi/\alpha_{1\eta} - 2\alpha\alpha_{1\eta\eta}/\sqrt{-2\alpha_{1\eta}} \frac{\partial\psi_1}{\partial\alpha}$ второй член имеет более высокий порядок, то должно выполняться уравнение

$$4 \psi_1 \alpha_{1\eta\eta} / \alpha_{1\eta} + 2 \psi_1 / \eta = 0 \quad \text{или} \quad \alpha_{1\eta} = -x^2 / 2 \sqrt{\eta}.$$

Поэтому в первом приближении

$$\psi_1 = \frac{\partial \varphi_1}{\partial \xi} = \frac{x^2}{\sqrt{\eta}} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{3}{4} \alpha x \eta^{-1/4} \right) \right]^{-2}, \quad \alpha = \xi - x^2 \sqrt{\eta}. \quad (7)$$

Отсюда φ_1 находится интегрированием по ξ

$$\varphi_1 = -\frac{x^2}{\sqrt{\eta}} \int_{+\infty}^{\xi} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{3}{4} \alpha x \eta^{-1/4} \right) \right]^{-2} d\xi + \text{const}. \quad (8)$$

Произвольная функция от η определяется из условия

$$(\partial\varphi/\partial\xi + \partial\varphi/\partial\eta)_{\xi=+\infty} = (\partial\varphi/\partial r)_{r=\infty} = 0$$

Найдем порядок не исчезающих членов в уравнении (6) при подстановке в него выражения (8); легко видеть, что старшими по порядку будут члены, пропорциональные $\partial^5 \phi / \partial \alpha^5 \sim \partial^3 \phi / \partial \eta \partial \alpha^2 \sim \eta^{7/4}$. Поэтому поправка ϕ_2 к ϕ_1 будет порядка $\eta^{-3/4}$. Таким образом, асимптотическое представление скорости жидкости в волне будет

$$\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} = \frac{\kappa^2}{V \eta} \left[\operatorname{ch} \left(\frac{3}{4} \alpha \eta^{-1/4} \right) \right]^{-2} + O(\eta^{-3/4}), \quad \alpha = \xi - \kappa^2 \sqrt{\eta} (1 + O(\eta^{-1/4})).$$

Асимптотическое представление одиночного «горба» в случае волн с осевой симметрией оказывается тесно связанным с уединенной волной. Таким же способом можно исследовать асимптотику волн в жидкости переменной глубины, если последняя достаточно медленно меняется.

Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
27 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. Лэмб, Гидродинамика, 1949. ² М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат, Методы теории функций комплексного переменного, 1958. ³ Ю. Л. Якимов, ДАН, 115, № 6, 1080 (1957). ⁴ Ю. П. Иванильов, Н. Н. Мойсеев, А. М. Тер-Крикоров, ДАН, 123, № 2, 231 (1958).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

И. С. АРЖАНЫХ

О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ДВИЖЕНИЯ
МЕЗОННОГО ЗАРЯДА

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 8 I 1959)

Пусть мезон с массой покоя μ и зарядом e движется со скоростью $\mathbf{v}(t, \mathbf{r})$ и создает плотность зарядов $\rho(t, \mathbf{r})$, ток $\mathbf{j}(t, \mathbf{r})$ и электромагнитное поле \mathbf{E}, \mathbf{H} . В силу закона сохранения заряда имеем уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} = 0, \quad (1)$$

и так как вектор \mathbf{j} есть ток конвекции, то

$$\mathbf{j} = \rho \mathbf{v}. \quad (2)$$

Электромагнитное поле определяется через скалярный потенциал Φ и векторный потенциал \mathbf{A} из уравнений Прока

$$\mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \operatorname{grad} \Phi, \quad \operatorname{div} \mathbf{E} = -K^2 \Phi + \rho, \quad (3)$$

$$\mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}, \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -k^2 \mathbf{A} + \frac{1}{c} \mathbf{j}, \quad (4)$$

где $k = 2\pi\mu c / h$. Закон движения имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \mathbf{v}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \mathbf{r}} = \mathbf{F}, \quad T = -\mu c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

а сила \mathbf{F} определяется формулой Лоренца

$$\mathbf{F} = e \left(\mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{v}, \mathbf{H}] \right). \quad (6)$$

Нашей задачей является определение величин $\rho, \mathbf{j}, \Phi, \mathbf{A}, \mathbf{E}, \mathbf{H}$ из системы уравнений (1) — (6).

Будем пользоваться методикой, изложенной в работе (1).

§ 1. Покажем, что если потенциалы удовлетворяют условию Лоренца

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{A} = 0, \quad (7)$$

то уравнение неразрывности (1) удовлетворяется. С этой целью применим оператор div к последнему уравнению системы Прока:

$$-\frac{1}{c} \operatorname{div} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -k^2 \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c} \operatorname{div} \mathbf{j}.$$

Заменяя здесь $\operatorname{div} \mathbf{E}$, имеем:

$$k^2 \left(\frac{1}{c} \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{A} \right) = \frac{1}{c} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} \right).$$

Следовательно, действительно, в силу (7) выполняется (1). Затем представим последнее уравнение Прока в виде

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} - \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \operatorname{grad} \Phi \right) &= -k^2 \mathbf{A} + \frac{1}{c} \rho \mathbf{v} = \\ &= -k^2 \mathbf{A} + \frac{\bar{\mathbf{v}}}{c} (\operatorname{div} \mathbf{E} + k^2 \Phi) = -k^2 \mathbf{A} + \frac{\mathbf{v}}{c} \left[k^2 \Phi + \operatorname{div} \left(-\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \operatorname{grad} \Phi \right) \right], \end{aligned}$$

или

$$\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) \mathbf{A} = \frac{\mathbf{v}}{c} \left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) \Phi. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) служат для определения потенциалов Φ и \mathbf{A} . Однако еще остается неизвестной скорость \mathbf{v} . Вопрос о вычислении этого вектора является основным, так как дальше будут получены формулы, непосредственно определяющие потенциалы через вектор скорости и один вспомогательный скаляр, имеющий механический смысл действия.

Обратимся к уравнениям движения (5). Введем импульсы

$$\mathbf{p} = \frac{\partial T}{\partial \mathbf{v}} \quad (9)$$

и будем рассматривать поле импульсов

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}(t, \mathbf{r}). \quad (10)$$

Тогда уравнения движения примут вид

$$\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} + \operatorname{grad} K + [\operatorname{rot} \mathbf{p}, \mathbf{v}] = \varepsilon \left(\mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{v}, \mathbf{H}] \right), \quad (11)$$

$$K = \frac{\mu c^2}{V 1 - v^2 / c^2}. \quad (12)$$

Уравнения (11) тождественно удсвлетворяются, если положить

$$\mathbf{E} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} + \operatorname{grad} K \right), \quad (13)$$

$$\mathbf{H} = -\frac{c}{\varepsilon} \operatorname{rot} \mathbf{p}.$$

Сопоставляя эти равенства с уравнениями Прока, имеем

$$-\frac{c}{\varepsilon} \operatorname{rot} \mathbf{p} = \operatorname{rot} \mathbf{A}, \quad (14)$$

$$\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} + \operatorname{grad} K \right) = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \operatorname{grad} \Phi. \quad (15)$$

Из уравнения (14) находим

$$\mathbf{A} = \frac{c}{\varepsilon} (\operatorname{grad} \omega - \mathbf{p}), \quad (16)$$

где ω — произвольная функция. Подставляем это значение в уравнение (15):

$$\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} + \operatorname{grad} K \right) = -\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial t} (\operatorname{grad} \omega - \mathbf{p}) - \operatorname{grad} \Phi,$$

или

$$\operatorname{grad} \left(K + \frac{\partial \omega}{\partial t} + \varepsilon \Phi \right) = 0.$$

Отсюда следует уравнение

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + K + \varepsilon \Phi = 0, \quad (17)$$

из которого находим

$$\Phi = -\frac{1}{\varepsilon} \left(K + \frac{\partial w}{\partial t} \right). \quad (18)$$

Подставим в равенства (16) и (18) значения K и \mathbf{p} :

$$\begin{aligned} \Phi &= -\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\mu c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{\partial w}{\partial t} \right), \\ \mathbf{A} &= -\frac{c}{\varepsilon} \left(\frac{\mu \mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \text{grad } w \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Наконец, подставим эти значения в уравнения (7) и (8):

$$\begin{aligned} \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left[-\frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\mu c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{\partial w}{\partial t} \right) \right] - \frac{c}{\varepsilon} \text{div} \left(\frac{\mu \mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \text{grad } w \right) &= 0, \\ -\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) \frac{c}{\varepsilon} \left(\frac{\mu \mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \text{grad } w \right) &= -\frac{\mathbf{v}}{c} \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\mu c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{\partial w}{\partial t} \right), \end{aligned}$$

или после упрощений:

$$\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) w = \mu \left(\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \text{div} \frac{\mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \right), \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) \left(\frac{\mu \mathbf{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \text{grad } w \right) &= \\ = \frac{\mathbf{v}}{c} \left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - k^2 \right) \left(\frac{\mu c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} + \frac{1}{c} \frac{\partial w}{\partial t} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Последние уравнения назовем разрешающими в связи с тем, что после определения вектора \mathbf{v} и скаляра w все неизвестные определяются: потенциалы из формул (19), электромагнитные поле по обычным формулам (первое и третье уравнения системы Прока), плотность зарядов по формуле

$$\rho = \text{div } \mathbf{E} + k^2 \Phi$$

и ток по формуле (2).

§ 2. Приведем пример использования построенных уравнений. Запишем разрешающие уравнения в сферических координатах и будем искать функции w и \mathbf{v} в зависимости только от расстояния до фиксированной точки, причем $v_r = v(r)$, $v_\theta = 0$, $v_\varphi = 0$ (радиальное движение мезона).

Кроме того, предположим, что движение происходит достаточно медленно ($v^2/c^2 = 0$). Учитывая структуру оператора Лапласа в сферических координатах в применении к скаляру

$$\Delta w(r) = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dw}{dr} \right)$$

и к вектору

$$\Delta v(r) = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dv}{dr} \right) - \frac{2v}{r^2},$$

получим следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dw}{dr} \right) &= \mu \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 v), \\ \left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} - \frac{2}{r^2} - k^2 \right) \left(\mu v - \frac{dw}{dr} \right) &= \frac{v}{c} (-k^2) \mu c. \end{aligned}$$

Первое из них дает интеграл

$$\frac{dw}{dr} = \mu \left(v - \frac{a}{r^2} \right), \quad a = \text{const},$$

и при подстановке во второе уравнение получим

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d}{dr} - \frac{2}{r^2} - k^2\right) \frac{\mu a}{r^2} = -\mu k^2 v.$$

Отсюда находим $v = a/r^2$.

Затем вычисляем потенциалы

$$\Phi = -\frac{1}{\varepsilon} \left(\mu c^2 + \frac{1}{2} \mu c^2 \frac{v^2}{c^2} \right) = -\frac{1}{2} \frac{\mu}{\varepsilon} v^2 + \text{const},$$

$$A_r = -\frac{c}{\varepsilon} \left(\mu v - \frac{dw}{dr} \right), \quad A_\theta = 0, \quad A_\varphi = 0,$$

электромагнитное поле

$$E_r = -\frac{d}{dr} \left(-\frac{1}{2} \frac{\mu}{\varepsilon} \frac{a^2}{r^4} \right) = -\frac{2\mu a^2}{\varepsilon} \frac{1}{r^5},$$

$$E_\theta = E_\varphi = 0, \quad H_r = H_\theta = H_\varphi = 0$$

и силу Лоренца

$$F_r = \varepsilon E_r = -\frac{2\mu a^2}{r^5}, \quad F_\theta = F_\varphi = 0.$$

Наконец, вычисляем плотность зарядов:

$$\rho = \text{div } \mathbf{E} + k^2 \Phi = \frac{\mu a^2}{\varepsilon} \frac{1}{r^4} \left(\frac{6}{r^2} - \frac{k^2}{2} \right).$$

Мы видим, что на расстоянии $r_0 = \frac{2V\sqrt{3}}{k} = \frac{V\sqrt{3}}{\pi} \frac{h}{\mu c}$ от фиксированной точки, которую будем рассматривать как центр ядра атома, плотность обращается в нуль и при дальнейшем увеличении радиуса действия мезона делается физически нереальной, так как ее знак должен совпадать со знаком заряда. Сферу радиуса r_0 естественно назвать обменной зоной. Принятые размеры ядра ⁽²⁾ показывают, что обменная зона целиком расположена внутри ядра.

Учитывая значение

$$\rho = \varepsilon f(r) = l \frac{\varepsilon \mu}{r^4} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r_0^2} \right), \quad l = \text{const},$$

мы видим, что

$$F = m \frac{\varepsilon \mu}{r^5}, \quad m = \text{const}.$$

Итак, в принятой схеме медленного движения мезона сила, на него действующая, обратно пропорциональна 5-й степени расстояния от центра ядра. В релятивистском случае среди частных решений содержится сила Юкавы.

Институт математики и механики
им. В. И. Романовского
Академии наук УзССР

Поступило
12 X 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. С. Аржаных, Докл. АН УзССР, № 7 (1957). ² Д. Иваненко, А. Соколов, Классическая теория поля, М.—Л., 1949.

Г. Я. ВАСИЛЬЕВ, А. Ф. УСАТЫЙ, Ю. С. ЛАЗУРКИН и А. А. МАРКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ПОТЕМНЕНИЯ СТЕКОЛ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОБЛУЧЕНИЯ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

(Представлено академиком А. П. Александровым 8 I 1959)

Люминесценция и потемнение — наиболее существенные явления, имеющие место в стеклах под действием излучения. Значительный интерес представляет изучение потемнения и люминесценции прозрачных веществ непосредственно во время облучения их в ядерном реакторе. Подобного рода работы в известной нам литературе до сих пор не описаны.

Целью настоящей работы было создание установки, позволяющей одновременно измерять люминесценцию и потемнение прозрачных материалов в ядерном реакторе, и проведение экспериментов с ее помощью. Целесообразность постановки задачи параллельного измерения выхода люминесценции и потемнения образца очевидна вследствие тесной связи этих явлений в процессе облучения, а также в связи с тем, что для определения яркости свечения образца конечной толщины необходимо учитывать его потемнение, приводящее к поглощению части потока свечения.

Установка представляла собой алюминиевую трубу диаметром 60 мм и длиной 5 м, в которой располагались две полированные изнутри алюминиевые трубки тракта потемнения и одна полированная трубка тракта люминесценции. Свет от лампочки накаливания, помещенной над одной из трубок тракта потемнения, проходил через образец, расположенный в специальном патроне в нижнем конце трубы, и, отразившись от зеркала, направлялся в другую трубку, после чего попадал на фотоумножитель ФЭУ-31, расположенный, как и источник света, вне зоны облучения. Ток фотоумножителя измерялся самописцем класса 0,5, полное отклонение которого в начале опыта устанавливалось на 100% пропускания. Величина темного тока и тока, обусловленного свечением люминесценции образца, не превышала 0,1% по шкале пропускания при дифференциальной дозе 2500 рад/сек. Точность абсолютного измерения величины пропускания составляла 5% от измеряемой величины; относительная точность — около 1% в пределах каждой шкалы самописца.

Рядом с образцом тракта потемнения помещался другой образец, свечение которого попадало в трубку тракта люминесценции и модулировалось с низкой частотой. Модулированный световой поток регистрировался фотоумножителем ФЭУ-20, сигнал которого усиливался узкополосным усилителем, выпрямлялся и подавался на самописец. Градуировка тракта люминесценции производилась люминофором постоянного действия — смесью порошка $ZnS(Ag)$ и α -активного препарата. Яркость эталона была 0,84 микростильба. Сигнал от эталона в 7 раз превышал уровень шумов установки, соответствующих световому сигналу около 10^{-11} люмен при данной полосе пропускания. Суммарная неточность определения абсолютной величины яркости свечения люминесценции не превышала 14%, относительная ошибка 5%.

Для проверки соответствия спектра излучения эталона и измеряемых образцов нами с помощью набора светофильтров грубо оценивался спектральный состав свечения кварца. Спектр свечения кварца лежал в тех же пределах, что и спектр свечения эталона.

Измерение люминесценции и потемнения проводилось в вертикальном сухом (охлаждаемом снаружи водой) канале диаметром 65 мм экспериментального реактора ВВР, в котором обычная вода служила замедлителем и теплоносителем (¹). Канал располагался вблизи активной зоны реактора. Максимальная дифференциальная доза в этом канале, измеренная с помощью нестандартного калориметрического метода, составила для кварца $1,7 \cdot 10^4$ рад/сек и была обусловлена на 93% поглощением γ -лучей и примерно на 7% замедлением нейтронов. Максимальный поток нейтронов с энергией больше 1 Мэв был равен $6 \cdot 10^{12}$ н/см² сек.

Различные значения дифференциальной дозы можно было получать, изменяя мощность реактора. В каждом опыте образцы располагались в одном и том же месте канала. Температура во всех опытах не превышала

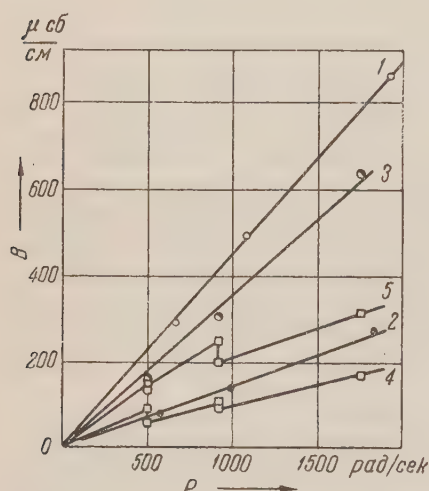


Рис. 1. Зависимость яркости люминесценции от дифференциальной дозы для различных образцов. 1 — кварц № 1; 2 — кварц № 2; 3 — кварц № 3; 4 — полиметилметакрилат; 5 — полистирол

рис. 1 приведена зависимость яркости свечения B от дифференциальной дозы излучения P в ядерном реакторе. В приведенные значения яркости свечения B внесена поправка на потемнение в момент измерения. Поскольку при измерении потемнения мы использовали лампочку накаливания, у которой распределение энергии в спектре излучения отличается от распределения энергии в спектре люминесценции, причем спектр люминесценции в основном лежит в более коротковолновой части, необходимо было учитывать, что поправка для получения истинного значения люминесценции вносилась с определенной ошибкой. Из сопоставления спектрального хода кривых распределения энергии в спектрах излучения, чувствительности ФЭУ и коэффициента поглощения образца было найдено, что погрешность в определении B равнялась 10%.

Из рисунка видно, что для всех образцов кварца вплоть до дифференциальной дозы $P = 2000$ рад/сек выполняется соотношение $B = \beta P$, где β — удельный показатель яркости люминесценции, равный для кварцев №№ 1, 2 и 3 соответственно 0,45; 0,15 и 0,35 мкб·сек/см·рад. В то время как для всех образцов кварца яркость люминесценции с учетом потемнения остается постоянной во времени при данной дифференциальной дозе, для полиметилметакрилата и полистирола она уменьшается во времени с увеличением интегральной дозы, что, по-видимому, связано с химическими изменениями в органических материалах под действием излучения.

Данные измерений потемнения, которые необходимы для определения точных значений яркости люминесценции, представляют самостоятельный интерес. Зависимость потемнения от времени и от дифференциальной дозы позволяет судить о характере образования центров окраски и их высветивании.

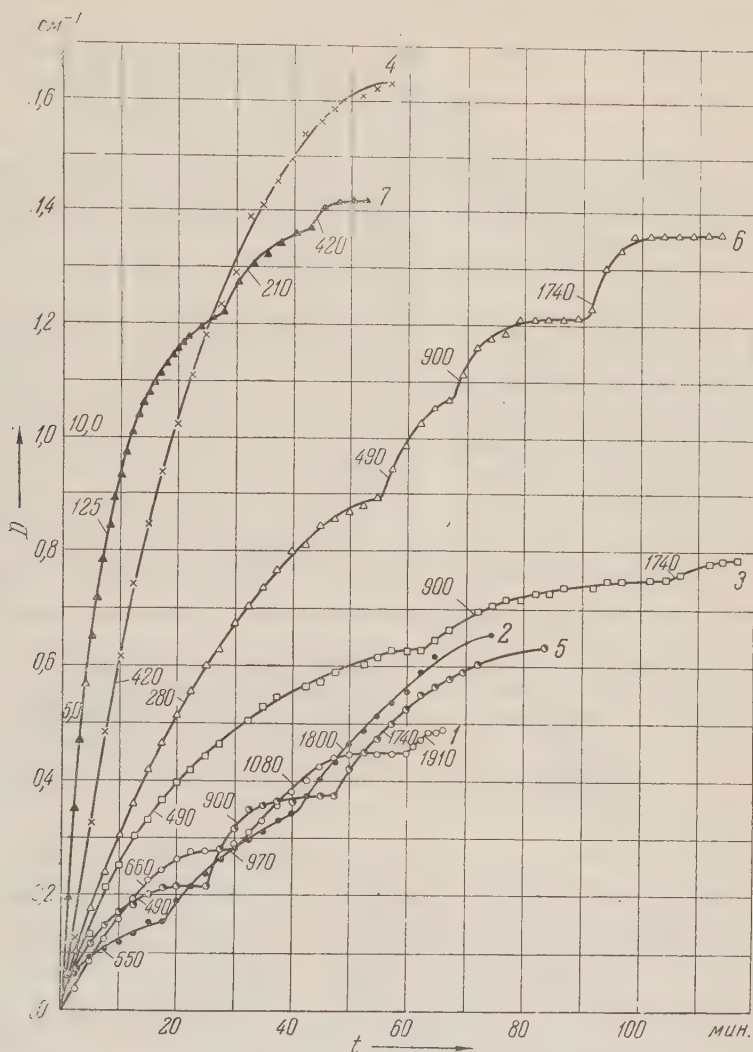


Рис. 2. Зависимость оптической плотности от времени и от дифференциальной дозы. Цифры у отдельных участков кривых дают значения дифференциальной дозы в рад/сек. 1 — кварц № 1; 2 — кварц № 2; 3 — кварц № 3; 4 — полиметилметакрилат; 5 — полистирол; 6 — цериное стекло; 7 — пирекс

Изучение зависимости оптической плотности D от времени при различных дифференциальных дозах показало, что значение D устанавливается за времена порядка десятков минут на равновесном уровне, величина которого зависит от дифференциальной дозы и мало изменяется по мере накопления интегральной дозы (см. рис. 2). После прекращения облучения оптическая плотность довольно быстро уменьшается до значений, в определенных пределах зависящих от интегральной дозы. Существование равновесного потемнения и быстрое просветление стекла после прекращения облучения иллюстрируется рис. 3.

По-видимому, в облучаемых материалах мы встречаемся по крайней мере с двумя механизмами потемнения. Один обусловлен образованием центров окраски с малой постоянной времени и связан с величиной дифференциальной дозы; его можно назвать «дифференциальным» эффектом потемнения. Центры потемнения в этом случае высвечиваются за время порядка времени установления равновесного уровня потемнения (10÷40 мин.). Этот эффект часто ускользает от экспериментаторов, если измерение потемнения производится

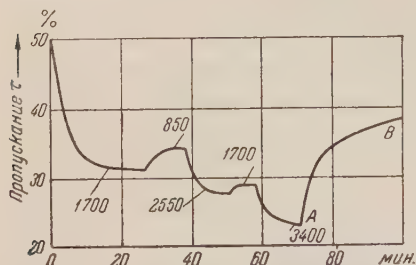


Рис. 3. Зависимость пропускания кварцевого стекла от времени при облучении в реакторе. Цифры у отдельных участков кривой — значения дифференциальной дозы в рад/сек. Участок АВ — просветление после прекращения облучения

после прекращения облучения. Второй механизм обусловлен образованием значительно более устойчивых центров. Эта часть потемнения в определенных пределах пропорциональна интегральной дозе. Для разных материалов линейный участок зависимости «интегрального» потемнения от интегральной дозы простирается до различных значений интегральной дозы, после чего имеет место насыщение. При облучении стекла имеют место оба эффекта потемнения, но «дифференциальное» потемнение становится практически заметным при интенсивностях облучения, больших 50 рад/сек.

Анализ кинетики потемнения показал, что увеличение оптической плотности происходит в некоторых случаях по экспоненциальному закону и зависимость $\ln \frac{D_p - D}{D_p} = f(I)$ изображается прямой (образцы кварца № 2

пирекса, полистирола). В других случаях (кварцы №№ 1 и 3) увеличение оптической плотности происходит таким образом, что при данной дифференциальной дозе наблюдается ускорение процесса насыщения, причем для кварца № 3 временной ход потемнения может быть описан тремя экспонентами с последовательно уменьшающимися временами установления. а у кварца № 1 наблюдается монотонное увеличение скорости насыщения потемнения.

Нам представляется, что между исследованным в настоящей работе эффектом обратимого «дифференциального» потемнения и обнаруженными в работе М. А. Мокульского, Ю. С. Лазуркина, М. Б. Фивейского и В. И. Козина (2) обратимыми радиационно-механическими эффектами имеется известная общность. Эти эффекты принадлежат к общему классу мало исследованных явлений, имеющих место в твердых телах под облучением и связанных с возникновением короткоживущих образований различного рода (центров окрашивания, свободных радикалов и т. п.).

Описанные в настоящей статье измерения являются лишь первыми из намеченной серии опытов. В частности, можно предположить, что как существование «дифференциального» и «интегрального» эффектов потемнения, так и своеобразная кинетика потемнения некоторых сортов кварца могут быть непосредственно связаны с наличием нескольких видов центров окраски, способных к взаимодействию и к взаимным превращениям. Выяснению этого вопроса должны способствовать измерения спектров поглощения стекол во время облучения в реакторе, подготавливаемые в настоящее время.

Поступило
23 IX 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Сборн. Реакторостроение и теория реакторов. Изд. АН СССР, 1955, стр. 91.
- ² М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский, В. И. Козин, ДАН, 125, № 5 (1959).

К. С. ВУЛЬФСОН

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННООПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 13 X 1958)

Завойский ⁽¹⁾ списал электроннооптическую установку для измерения длительности световых вспышек, обладающую теоретическим пределом разрешающей способности в 10^{-14} сек. Практически с ней была достигнута разрешающая способность порядка 10^{-13} сек. Указанная установка может быть, как будет показано ниже, использована для особо точного измерения скорости распространения света.

Предлагаемая схема расположения приборов изображена на рис. 1. Источник света 1 посылает световые импульсы возможно малой длительности и большой крутизны фронта. В качестве такого источника можно использовать описанную в ⁽¹⁾ искру в сжатом газе между двумя миниатюрными электродами. Длительность свечения такой искры порядка $5 \cdot 10^{-10}$ сек., а точность фиксации фазы отдельных световых колебаний можно оценить по снимкам ⁽¹⁾ в $10^{-11} - 10^{-12}$ сек.

Световые лучи от источника света, проходя через полупрозрачные зеркала 2 и 3, отражаются от зеркала 4. Расстояние между зеркалами 3 и 4 является базой, на которой определяется скорость распространения света. После отражения от зеркал 3 и 4 световые лучи направляются зеркалом 2 на фотокатод электроннооптического преобразователя 5, снабженного отклоняющими пластинами 6 и обладающего большим коэффициентом усиления. На отклоняющие пластины преобразователя подается напряжение от высокочастотного генератора с точно заданной частотой ($\lambda \approx 100$ см). Точность определения частоты задающего генератора может быть обеспечена не ниже 10^{-8} .

При таком расположении отражающих зеркал, линз 8 и 10 и диафрагмы 9 на фотокатод преобразователя будут падать два световых импульса с интервалом времени между ними, определяемым длиной базы. При расстоянии между зеркалами 3 и 4 порядка всего 150 м интервал времени между световыми вспышками будет равен 10^{-6} сек. Поскольку разрешающая способность преобразователя $10^{-12} - 10^{-13}$ сек., то можно ожидать, что относительная ошибка определения интервала времени будет порядка $10^{-6} - 10^{-7}$ сек. и, следовательно, будет соответствовать лучшим современным определениям скорости распространения света или даже превосходить их при значительно меньшей длине базы. Небольшая длина базы позволяет проводить измерения в вакууме и тем самым исключить один из важнейших источников ошибки, а именно неточность в определении

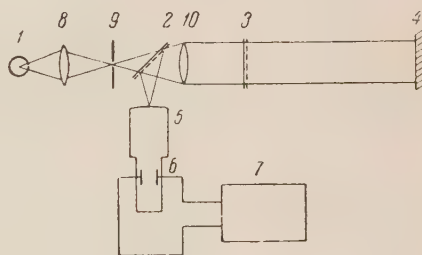


Рис. 1

показателя преломления воздуха. Кроме того, при определении небольшой базы может быть обеспечена более высокая точность, так как возможно применение интерферометрических методов. Следует также отметить, что, подбирая коэффициент отражения зеркала Z , можно подобрать почти равную интенсивность обеих световых вспышек и тем самым повысить точность измерения интервала времени между ними.

Московский городской
педагогический институт
им. В. П. Потемкина

Поступило
10 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. К. Завойский, С. Д. Фанченко, ДАН, **100**, № 4, 661 (1955).

Я. И. ГРАНОВСКИЙ

О СВОЙСТВАХ К-МЕЗОНА

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 I 1959)

В настоящее время свойства К-мезона изучаются экспериментально. В данной заметке мы указываем, что такие свойства К-мезона, как масса, спин и четность, могут быть уже сейчас получены из теории Гейзенберга ⁽¹⁾.

Согласно ⁽²⁾ возьмем лагранжиан

$$L = \bar{\psi} \gamma_{\mu} \nabla_{\mu} \psi + \bar{\chi} \gamma_{\mu} \nabla_{\mu} \chi + l^2 (\bar{\psi} O_n \chi) (\bar{\chi} O_n \psi) \quad (1)$$

(матрицы O_n соответствуют одному из 5 вариантов теории β -распада). Для волновой функции К-мезона

$$\varphi(x, y) = \langle O | T \psi(x) \bar{\chi}(y) | \Phi \rangle \quad (2)$$

в первом приближении метода Тамма — Данкова, согласно методике Гейзенберга ⁽³⁾, получаем уравнение

$$\varphi(x, y) = - \frac{l^2}{8} \int d^4 u \{ G(x, u) O_n S^x(u, y) + S^y(x, u) O_n G(u, y) \} \text{Sp } O_n \varphi(u, u), \quad (3)$$

где $G(x, u)$ — функция Грина уравнения Дирака (без массы); S^x, S^y — свертки полей χ и ψ соответственно ⁽²⁾.

Полагая

$$\varphi(x, x) = e^{ip \cdot x} \varphi \quad (4)$$

p — 4-импульс К-мезона) и переходя к импульсному представлению, получаем линейное алгебраическое уравнение для φ . В системе, где К-мезон покоится, оно имеет вид

$$\varphi = - \left\{ \gamma_{\mu} O_n \gamma_{\mu} C(p^2) + \gamma_4 O_n \gamma_4 p^2 D(p^2) + \frac{\gamma_4 O_n - O_n \gamma_4 \tau_3}{2} p_4 B(p^2) \right\} \text{Sp } O_n \varphi \quad (5)$$

здесь B, C, D — функции, введенные в ⁽³⁾.

Поскольку $\gamma_{\mu} O_n \gamma_{\mu} = A_n O_n$ и $\gamma_4 O_n \gamma_4 = \varepsilon_n O_n$ (A_n и ε_n — числа), то из (5) вытекает, что волновая функция К-мезона линейно содержит O_n и $O_n \gamma_4$. Это позволяет определить спин и четность К-мезона.

Масса К-мезона определяется из уравнения

$$1 = -4 [A_n C(p^2) + \varepsilon_n p^2 D(p^2)], \quad (6)$$

являющегося следствием (5). Результаты решения этого уравнения и тип соответствующих волновых функций приводятся в табл. 1. Там же указаны значения констант $(4\pi/\kappa l)^2$, необходимые при расчетах. Они были получены

нами при вычислении массы протона (вычисления опускаются ввиду их громоздкости).

В нескалярных вариантах нелинейного члена возможны два типа решений, отличающихся знаком ε_n , а вследствие этого и массой, и характером волновой функции.

Вариант нелинейного члена можно однозначно определить, если известны спин, четность и масса К-мезона. Ближе всего к наиболее вероятным значениям $S = 0$, $P = +1$, $M_k/M_p = 0,526$ стоят результаты, полученные при использовании скалярного варианта: различие рассчитанной и наблюдаемой масс $\sim 3\%$. Следует, однако, иметь в виду, что четность К-мезона определена экспериментально пока недостоверно ⁽⁴⁾.

В псевдоскалярном, векторном и тензорном вариантах существование К-мезона невозможно. Это обусловлено выбором знака перед нелинейным членом. Если взять лагранжиан

$$L' = \bar{\psi} \gamma_\mu \nabla_\mu \psi + \bar{\chi} \gamma_\mu \nabla_\mu \chi - l^2 (\bar{\psi} O_n \chi) (\bar{\chi} O_n \psi), \quad (7)$$

то К-мезон будет возможен лишь в псевдоскалярном и векторном вариантах (см. табл. 1).

Таблица 1

Вариант	$\left(\frac{4\pi}{\kappa l}\right)^2$	A_n	ε_n	Волновая функция	$\frac{M_k}{M_p}$	$\frac{M_k}{M_p}$ для L'
S	3,345	4	1	Скаляр	0,543	—
P	2,470	—4	—1	Псевдоскаляр	—	0,59
V	4,146	—2	1	Скаляр	—	0,69
		—2	—1	Вектор	—	0,24
A	7,208	2	1	Псевдовектор	0,126	—
		2	—1	Псевдоскаляр	0,343	—
T	11,209	0	1	Псевдовектор	—	—
		0	—1	Вектор	—	—

Массы компонент изотопического дублета K^+ и K^0 в рассмотренном случае совпадают. Причина этого в том, что O_n не содержит изотопических матриц. Но разности масс не будет и тогда, когда O_n содержит их множителем. Только когда

$$O_n \sim \overleftrightarrow{c\tau} + c_0 \tau_0 \quad (8)$$

(τ_0 — единичная матрица), можно получить разные массы для K^+ и K^0 . Дальнейшее уточнение экспериментальных данных о массах K^+ и K^0 позволит дать ответ на вопрос об изотопической структуре нелинейного члена

В заключение выражаю благодарность проф. В. Гейзенбергу и доктору Г. Миттеру за сообщение числовых данных, опущенных в их работе ⁽³⁾.

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. Heisenberg, Rev. Mod. Phys., 29, 269 (1957). ² R. Ascoli, W. Heisenberg, Zs. Naturforsch., 12a, 177 (1957). ³ W. Heisenberg, F. Kortel, H. Mitter, Zs. Naturforsch., 10a, 425 (1955). ⁴ P. T. Matthews, A. Salam, Phys. Rev., 110, 569 (1958); C. Goebel, Phys. Rev., 110, 572 (1958).

Ю. А. ИЗЮМОВ

ЗАМЕЧАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ФОРМАЛИЗМА ГОЛЬШТЕЙНА И ПРИМАКОВА

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 I 1959)

1. Как известно, энергетический спектр спонтанно упорядоченного магнитном отношении кристалла вблизи основного состояния удается проксимировать спектром слабо неидеального бозе-газа. С математической стороны эта процедура эквивалентна переходу от операторов спина бозевским операторам. Мы попытаемся установить связь между ними в общем виде.

Удобно исходить из следующих перестановочных соотношений для пиновых операторов:

$$[S_j^z, S_k^+] = \delta_{jk} S_k^+; \quad [S_j^z, S_k^-] = -\delta_{jk} S_k^-; \quad [S_j^+, S_k^-] = 2\delta_{jk} S_k^z, \quad (1)$$

где $S_j^\pm = S_j^x \pm iS_j^y$. В квазиклассическом приближении, рассматривая большие спины ($s \gg 1$) и малые отклонения от основного состояния (за ось вентования выбирается ось z), легко получить, что

$$S_j^z \approx S - \frac{S_j^- S_j^+}{2s}. \quad (2)$$

Если обозначить

$$\frac{1}{\sqrt{2s}} S_j^+ = b_j, \quad \frac{1}{\sqrt{2s}} S_j^- = b_j^+, \quad (3)$$

то можно убедиться, что соотношения (1) для операторов b_j и b_j^+ приближенно являются бозевскими. Мы предположим, опираясь на принцип соответствия, что отклонение этих операторов от бозевских может быть писано с помощью функций от числа частиц $\hat{n}_j = b_j^+ b_j$. Используя (2) (3), напомним

$$S_j^+ = (2s)^{1/2} f_s(\hat{n}_j) b_j; \quad S_j^- = (2s)^{1/2} b_j^+ f_s(\hat{n}_j); \quad S_j^z = s - Z_s(\hat{n}_j), \quad (4)$$

где $f_s(\hat{n})$ и $Z_s(\hat{n})$ — неопределенные функции, причем

$$f_s(0) = 1; \quad Z_s(0) = 0. \quad (5)$$

В выражениях (4) операторы b_j и b_j^+ являются точно бозевскими. Из соотношений (1) можно получить связь между этими функциями

$$Z_s(\hat{n}_j + 1) - Z_s(\hat{n}_j) = 1; \quad s[f_s^2(\hat{n}_j)(1 + \hat{n}_j) - f_s^2(\hat{n}_j - 1)\hat{n}_j] = s - Z_s(\hat{n}_j). \quad (6)$$

Если обозначить

$$F_s(n) = f_s^2(n-1)n \quad (7)$$

и перейти к представлению, где \hat{n}_j диагонально, то, опуская индекс j , получим систему функциональных уравнений для $f_s(\hat{n})$ и $Z_s(\hat{n})$

$$Z_s(n+1) - Z_s(n) - 1 = 0; \quad F_s(n+1) - F_s(n) - 1 = -\frac{1}{s} Z_s(n),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots,$$

общее решение которой

$$Z_s(n) = a + n; \quad F_s(n) = b + \left(1 - \frac{a}{s}\right)n - \frac{n(n-1)}{2s}.$$

Ввиду дополнительных условий (5) $a = b = 0$. Тогда из (7) находим

$$f_s(n) = \sqrt{\frac{F_s(n+1)}{n+1}} = \sqrt{1 - \frac{n}{2s}}.$$

В операторном виде имеем

$$Z_s(\hat{n}_j) = \hat{n}_j; \quad f_s(\hat{n}_j) = \left(1 - \frac{\hat{n}_j}{2s}\right)^{1/2}. \quad (8)$$

Эти выражения совместно с (4) определяют соотношения Гольштейна — Примакова, установленные ими посредством аналогий с формулами для моментов ⁽¹⁾.

2. Поставим теперь задачу, некоторым образом обратную той, которая решалась в п. 1: найти такие операторы b_{sj} и b_{sj}^+ , которые определяют соотношениями (4) и (8) и действуют в пространстве такой же размерности, что и операторы спина, т. е. размерности $2s+1$ (индекс s при b как раз и должен указывать на это). Перестановочные соотношения между этими операторами мы запишем в виде

$$b_{sj}b_{sk} - b_{sk}b_{sj} = 0; \quad (9)$$

$$b_{sj}b_{sk}^+ - b_{sk}^+b_{sj} = \delta_{jk}(1 + B_s(\hat{n}_j)), \quad (9a)$$

где $B_s(\hat{n}_j)$ — неизвестная функция оператора $\hat{n}_j \equiv b_{sj}^+b_{sj}$, причем $\lim_{s \rightarrow \infty} B_s(\hat{n}_j) = 0$. Чтобы при данных перестановочных соотношениях выполнялись соотношения (4) и (8), необходимо $B_s(\hat{n}_j)$ подчинить условиям

$$B_s(\hat{n}_j)b_{sj} = 0; \quad (\hat{n}_j - 2s)B_s(\hat{n}_j) = 0. \quad (10)$$

Мы покажем, что если на операторы b_{sj} и b_{sj}^+ наложить условия

$$b_{sj}^{2s+1} = b_{sj}^{2s+1} = 0 \quad (11)$$

и выбрать $B_s(\hat{n}_j)$ в виде

$$B_s(\hat{n}_j) = a_s b_{sj}^{+2s} b_{sj}^{2s}, \quad (12)$$

где a_s — c -число, то уравнения (10) удовлетворяются. В самом деле, умножая равенства (9a) справа на b_{sj} и полагая $j = k$, получим, в силу (11)

$$b_s b_s^+ b_s - b_s^+ b_s^2 = b_s$$

(мы опустили индекс j). С помощью этого выражения легко установить рекуррентное соотношение

$$b_s^{+k+1} b_s^{k+1} = b_s^{+k} b_s^k (b_s^+ b_s - k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, 2s, \quad (13)$$

из которого с учетом (11) следует

$$b_s^+ b_s (b_s^+ b_s - 1) (b_s^+ b_s - 2) \dots (b_s^+ b_s - 2s) = 0. \quad (14)$$

В силу теоремы Кэли — Гамильтона ⁽²⁾ собственные значения оператора $\hat{n} = b_s^+ b_s$ целые числа: $0, 1, 2, \dots, 2s$.

Нетрудно доказать, что оператор

$$P_s = \frac{1}{(2s)!} b_s^{+2s} b_s^{2s} = \frac{1}{(2s)!} \prod_{n=0}^{2s-1} (b_s^+ b_s - n) \quad (15)$$

обладает проекционными свойствами, причем $\text{Sp } P_s = 1$. Беря шпур от равенства (9а) при $j = k$, получим на основании (12) и (15), что $a_s = -(2s + 1)/(2s)!$

Итак, мы показали, что при перестановочных соотношениях

$$b_s b_s^+ - b_s^+ b_s = 1 - \frac{2s + 1}{(2s)!} b_s^{+2s} b_s^{2s} \quad (16)$$

выражения (10) удовлетворяются, а следовательно, имеют место соотношения (4) и (8). Легко сказать, что матрицы

$$\{b_s\} = \begin{pmatrix} 0 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & \sqrt{1} & & \\ & & \sqrt{2} & \ddots & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \sqrt{2s} \\ & & & & & 0 \end{pmatrix}, \quad \{b_s^+\} = \begin{pmatrix} 0 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & \sqrt{1} & & \\ & & \sqrt{2} & \ddots & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \sqrt{2s} \\ & & & & & 0 \end{pmatrix} \quad (17)$$

удовлетворяют всем соотношениям данного пункта: они дают линейное представление операторов b_s и b_s^+ . Представление полной совокупности операторов для всех j строится как прямое произведение $(2s + 1)$ -рядных единиц на матрицы $\{b_s\}$ и $\{b_s^+\}$:

$$b_{sj} \rightarrow \underbrace{1 \times 1 \times \dots \times 1}_{j-1} \times \{b_s\} \times 1 \times \dots \quad (18)$$

Из выражения (17) ясно, что введенные нами операторы b_s и b_s^+ являются проекциями бозевских операторов на пространство действительных спиновых отклонений.

3. Взяв образы Фурье операторов b_{sj} и b_{sj}^+

$$b_{s\lambda} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_j e^{-i\lambda j} b_{sj}; \quad b_{s\lambda}^+ = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_j e^{i\lambda j} b_{sj}^+,$$

найдем перестановочные соотношения для них:

$$b_{s\lambda} b_{s\lambda'} - b_{s\lambda'} b_{s\lambda} = 0; \quad (19)$$

$$b_{s\lambda} b_{s\lambda'}^+ - b_{s\lambda'}^+ b_{s\lambda} = \delta(\lambda - \lambda') - \frac{2s + 1}{(2s)!} \frac{1}{N} \sum_j e^{i(\lambda' - \lambda)j} \prod_{n=0}^{2s-1} (b_{sj}^+ b_{sj} - n). \quad (19a)$$

Мы видим, что последний член не аннулируется лишь тогда, когда он действует на функцию состояния с $n_j = 2s$. Отсюда видно, что соотношение (19а) для слабых возбуждений будет бозевским; приближение будет тем лучше, чем больше s .

Примечание. Из общей теории функций от матриц следует, что $f_s(\hat{n})$, определенная на операторах $\hat{n} = b_s^+ b_s$, изображается полиномом

$$f_s(\hat{n}) = c_0 + c_1 \hat{n} + \dots + c_{2s} \hat{n}^{2s}, \quad (20)$$

что впервые было отмечено Кубо⁽³⁾.

Уральский государственный университет
чм. А. М. Горького

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Т. Holstein, Н. Primakoff, Phys. Rev., 58, 1098 (1940). ² Ф. Р. Гантмахер, Теория матриц, 1953. ³ R. Kubo, Phys. Rev., 87, 568 (1952).

Л. М. ЛЯМШЕВ

К ВОПРОСУ О ПРИНЦИПЕ ВЗАИМНОСТИ В АКУСТИКЕ

(Представлено академиком Н. Н. Андреевым 20 I 1959)

Как известно, Гельмгольц ⁽¹⁾ впервые указал на существование соотношения взаимности в акустике, а несколько позднее Рэлей ^(2, 3) обобщил это соотношение и установил некоторый общий принцип взаимности, связывающий различные типы внешних воздействий на линейную динамическую систему с эффектами этих воздействий. Принцип взаимности был сформулирован Рэлеем математически для линейных систем с конечным числом степеней свободы ⁽²⁻⁴⁾. Было также показано, что для акустической среды с имеющимися в ней неподвижными границами этот принцип следует из формулы Грина для оператора Лапласа. Что касается акустической среды, в которой находятся упругие пластинки, оболочки и мембраны и т. п., то в ⁽³⁾ приведены лишь общие указания на справедливость соотношения взаимности и в этом случае. Насколько нам известно, отсутствует математическая формулировка принципа взаимности, описывающая связь между объемными источниками в акустической среде, некоторыми внешними силами, действующими на оболочки, мембраны и т. д., и полями излучения, создаваемыми этими источниками и телами. Такое соотношение может быть получено.

Пусть имеется произвольный объем Ω , заполненный любой комбинацией акустических сред и упругих оболочек (стержней, мембран и т. п.), замкнутых или ограниченных и закрепленных в неподвижные экраны. Поверхность оболочки обозначим S_i ; контур закрепления Γ_i . Рассмотрим поле $p^{(1)}(\mathbf{r})$, создаваемое некоторой непрерывно распределенной по Ω системой объемных гармонических источников $Q^{(1)}(\mathbf{r})$. Тогда $p^{(1)}(\mathbf{r})$ является решением уравнения*

$$\Delta p^{(1)}(\mathbf{r}) + k^2 p^{(1)}(\mathbf{r}) = -Q^{(1)}(\mathbf{r}) \quad (1)$$

и удовлетворяет краевым условиям

$$\lim_{r \rightarrow \infty} p^{(1)}(\mathbf{r}) \rightarrow 0, \quad \text{Im } k > 0; \quad (2)$$

$$-\frac{1}{\omega^2 \rho} \frac{\partial p^{(1)}(\mathbf{r})}{\partial n} \Big|_{S_i} = w_i^{(1)}(\mathbf{r}); \quad (3)$$

$$L_i w_i^{(1)}(\mathbf{r}) = F_i^{(1)}(\mathbf{r}) - p^{(1)}(\mathbf{r}) \Big|_{S_i}; \quad (4)$$

$$T_{ij}(w_i^{(1)}) = g_{ij}^{(1)} \Big|_{\Gamma_i}, \quad R_{ij}(w_i^{(1)}) = -f_{ij}^{(1)} \Big|_{\Gamma_i}, \quad \Gamma_i' + \Gamma_i'' = \Gamma_i. \quad (5)$$

* Как известно, уравнение (1) справедливо для неоднородной среды, когда скорость звука в среде является функцией координат, а плотность среды постоянна. Не представляет, однако, принципиальных трудностей рассмотреть более общий случай неоднородной среды с плотностью и скоростью, зависящими от координат, если исходить из уравнения для такой среды, например, в форме, данной в ⁽⁵⁾.

Пусть задана другая система распределенных непрерывно источников $Q^{(2)}(\mathbf{r})$. Создаваемое этими источниками поле $p^{(2)}(\mathbf{r})$ подчиняется уравнению

$$\Delta p^{(2)}(\mathbf{r}) + k^2 p^{(2)}(\mathbf{r}) = -Q^{(2)}(\mathbf{r}) \quad (1')$$

и краевым условиям (2) — (5), где верхний значок (1) , как и в уравнении (1'), заменен на значок (2) . В выражениях (3) — (5) n — внешняя к S_i нормаль; w_i — нормальные перемещения поверхности оболочки; F_i — сторонние механические силы, действующие на оболочку в направлении нормали; g_{ij} , f_{ij} — сторонние силы, моменты смещения и т. д., действующие на оболочку вдоль ее контура Γ_i (на краю оболочки); $L_i w_i$ — самосопряженный дифференциальный оператор*, для которого справедлива формула Грина

$$\int_{S_i} [w_i^{(1)} L_i w_i^{(2)} - w_i^{(2)} L_i w_i^{(1)}] ds = \int_{\Gamma_i} \sum_{j=1}^N [R_{ij}(w_i^{(2)}) T_{ij}(w_i^{(1)}) - T_{ij}(w_i^{(2)}) R_{ij}(w_i^{(1)})] dl, \quad (6)$$

где $R_{ij}(w_i)$ и $T_{ij}(w_i)$ — также некоторые дифференциальные операторы.

Умножим уравнение (1) на $p^{(2)}(\mathbf{r})$, а уравнение (1') на $-p^{(1)}(\mathbf{r})$, сложим их, проинтегрируем обе части полученного равенства по объему Ω , пользуясь формулой Грина, краевыми условиями (2) — (5) и формулой (6), окончательно получим

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} Q^{(2)}(\mathbf{r}) p^{(1)}(\mathbf{r}) dv + \sum_{i=1}^k \int_{S_i} \frac{\partial p^{(1)}(\mathbf{r})}{\partial n} F_i^{(2)}(\mathbf{r}) ds + \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma_i} \sum_{j=1}^N g_{ij}^{(2)} R_{ij} \left(\frac{\partial p^{(1)}}{\partial n} \right) dl + \\ + \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma_i} \sum_{j=1}^N f_{ij}^{(2)} T_{ij} \left(\frac{\partial p^{(1)}}{\partial n} \right) dl = \int_{\Omega} Q^{(1)}(\mathbf{r}) p^{(2)}(\mathbf{r}) dv + \sum_{i=1}^k \int_{S_i} \frac{\partial p^{(2)}(\mathbf{r})}{\partial n} F_i^{(1)}(\mathbf{r}) ds + \\ + \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma_i} \sum_{j=1}^N R_{ij} \left(\frac{\partial p^{(2)}}{\partial n} \right) g_{ij}^{(1)} dl + \sum_{i=1}^m \int_{\Gamma_i} \sum_{j=1}^N T_{ij} \left(\frac{\partial p^{(2)}}{\partial n} \right) f_{ij}^{(1)} dl. \end{aligned} \quad (7)$$

Выражение (7) можно рассматривать как математическую формулировку акустического принципа взаимности.

Разберем некоторые частные случаи.

Пусть

$$F_i^{(1)} = F_i^{(2)} = g_{ij}^{(1)} = g_{ij}^{(2)} = f_{ij}^{(1)} = f_{ij}^{(2)} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

Тогда из выражения (7) следует хорошо известное соотношение

$$\int_{\Omega} Q^{(1)}(\mathbf{r}) p^{(2)}(\mathbf{r}) dv = \int_{\Omega} Q^{(2)}(\mathbf{r}) p^{(1)}(\mathbf{r}) dv. \quad (8)$$

Обычно это соотношение взаимности получают, предполагая, что источники и их поля существуют в свободном пространстве или пространстве с неподвижными границами. Заметим, в частности, что выражение (8) можно рассматривать как некоторое интегральное соотношение, связывающее решения двух краевых самосопряженных задач дифракции звука на упругих оболочках (мембранах, стержнях и т. п.).

* Условия, когда оператор $L_i w_i$ в случае тонких упругих оболочек является самосопряженным, совпадают по существу с условиями применимости теоремы Бетти к оболочкам.

Предположим, что

$$Q^{(2)}(\mathbf{r}) = F_i^{(1)}(\mathbf{r}) = g_{ij}^{(1)} = g_{ij}^{(2)} = f_{ij}^{(1)} = f_{ij}^{(2)} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, N;$$

$$F_i^{(2)} = 0, \quad i = 2, 3, \dots, k.$$

Имеем

$$\int_{\Omega} Q^{(1)}(\mathbf{r}) p^{(2)}(\mathbf{r}) dv = \int_S \frac{\partial p^{(1)}(\mathbf{r})}{\partial n} F^{(2)}(\mathbf{r}) ds. \quad (9)$$

Соотношение (9) связывает решения краевых задач дифракции и излучения звука.

Отметим некоторые возможности применения принципа взаимности в форме полученных выше интегральных соотношений. Пусть, например, требуется решить задачу о рассеянии звука упругой оболочкой, когда падающее поле создано системой распределенных в пространстве источников. Тогда, если уже решена задача о поле точечного источника в присутствии оболочки, искомое решение, как следует из соотношения (8), сводится непосредственно к квадратурам. В самом деле, если необходимо определить поле излучения в некоторой точке \mathbf{r}_1 пространства Ω , то, помещая в эту точку вспомогательный точечный источник $Q_0^{(1)}\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)$, поле которого $p^{(1)}(\mathbf{r})$ нам известно, получим

$$p^{(2)}(\mathbf{r}_1) = \frac{1}{Q_0^{(2)}} \int_{\Omega} p^{(1)}(\mathbf{r}) Q^{(2)}(\mathbf{r}) dv. \quad (10)$$

Допустим, что источники распределены статистически и известна пространственная функция корреляции

$$\overline{Q_{\alpha}^{(2)}(\mathbf{r}') Q_{\beta}^{(2)*}(\mathbf{r}'')} = \sigma K_{\alpha\beta}(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'').$$

Для определения спектральной интенсивности статистического поля рассеяния умножим выражение (10) на сопряженное и усредним по ансамблю.

Имеем

$$I_{\omega} = \frac{1}{|Q_0^{(1)}|^2} \int_{\Omega} \int_{\Omega} p_{\alpha}^{(1)}(\mathbf{r}') p_{\beta}^{(1)*}(\mathbf{r}'') \sigma K_{\alpha\beta}(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'') dv' dv''.$$

Таким же способом, как и выше, может быть найдено решение задачи о прохождении звукового поля через оболочку, если это поле обусловлено системой регулярных или статистически распределенных источников.

Предположим, что необходимо определить поле излучения оболочки, колеблющейся под действием распределенных по ее поверхности сил $F^{(2)}(\mathbf{r})$. Как и раньше, если известно решение соответствующей дифракционной задачи, из (9) имеем

$$p^{(2)}(\mathbf{r}_1) = \frac{1}{Q_0^{(1)}} \int_S \frac{\partial p^{(1)}(\mathbf{r})}{\partial n} F^{(2)}(\mathbf{r}) ds, \quad (11)$$

а в случае статистически распределенных сил

$$I_{\omega} = \frac{1}{|Q_0^{(1)}|^2} \int_S \int_S \frac{\partial \overline{p_{\alpha}^{(1)}(\mathbf{r}')} }{\partial n} \frac{\partial \overline{p_{\beta}^{(1)*}(\mathbf{r}'')} }{\partial n} \sigma K_{\alpha\beta}(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'') ds' ds''.$$

Здесь $\sigma K_{\alpha\beta}(\mathbf{r}' - \mathbf{r}'')$ — функция корреляции сторонних механических сил*.

* Вопросы рассеяния и излучения статистических звуковых полей тонкими упругими оболочками и пластинками обсуждались в (6), причем был использован изложенный здесь метод решения соответствующих задач дифракции и излучения. Близкий по идее метод решения электродинамических задач излучения с использованием принципа взаимности был предложен М. Л. Левиным (7) в статистической теории теплового излучения.

Аналогичным образом, соотношение (7) может быть использовано для решения задачи излучения, когда оболочка совершает колебания под действием сил, моментов, смещений и т. д. g_{ij} , f_{ij} , заданных на ее границе, а также и в других случаях.

Заметим, что интегральное соотношение (7) справедливо, когда в акустической среде находятся упругие тела вообще, а не только оболочки и мембраны. Это следует, в частности, из того, что оператор теории упругости, как известно, является самосопряженным оператором. Мембраны, оболочки и т. п. могут быть неоднородными. Важно, чтобы выполнялось условие самосопряженности оператора, описывающего их уравнения движения.

Имеются случаи, когда рассматриваемое интегральное соотношение оказывается несправедливым. Оно может быть заменено другим аналогичным по форме соотношением, однако в рамках настоящей заметки мы не будем останавливаться на этих вопросах.

Акустический институт
Академии наук СССР

Поступило
18 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н e l m h o l t z, Crelle J., 57, 1 (1860); 100, 137, 213 (1886); Vorlesungen über die mathematischen Prinzipien der Akustik, §§ 28, 54, 1898. ² J. W. S t r u t t (R a y l e i g h), Proc. Lond. Math. Soc., 4, 357 (1873); Proc. Roy. Soc., 25, 118 (1876). ³ Р е л е й, Теория звука, 1, М.—Л., 1955, стр. 174—180; 2, М.—Л., 1955, стр. 145—149. ⁴ В. В. Ф у р д у е в, Теоремы взаимности, М.—Л., 1948. ⁵ Л. Д. Л а н д а у, Е. М. Л и ф ш и ц, Механика сплошных сред, М., 1953, стр. 355. ⁶ Л. М. Л я м ш е в, IV Всесоюз. акустич. конф., Реф. докл., Изд. АН СССР, М., 1958. ⁷ М. Л. Л е в и н, ДАН, 102, № 1, 53 (1955).

В. П. ЦВЕТКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА СТРУКТУРНОЙ ДИФФУЗИИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 I 1959)

Развитая в работе ⁽¹⁾ теория ближнего порядка в простых жидкостях уточнялась А. Е. Глауберманом ⁽²⁾. Найденная им функция радиального распределения имеет вид

$$G(r) = \sum_s \frac{n_s}{\sqrt{\pi(\alpha + 4Dr_s)}} \exp \left[-\frac{(r - r_s)^2}{\alpha + 4Dr_s} \right], \quad (1)$$

где n_s — число атомов, находящихся на расстоянии r_s от атома, выбранного за центральный; D — коэффициент структурной диффузии; через α обозначено $2kT/f$ (k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, f — фактор квазиупругой связи).

Функция $G(r)$ явно зависит от температуры и, кроме того, температура входит в формулу (1) через коэффициент структурной диффузии D . Зависимость D от температуры для олова была дана ранее ⁽³⁾, однако исследование ⁽³⁾ не полно. В данной работе исследуется зависимость D от температуры для висмута и делается попытка аналитического представления $D = D(T)$. С этой целью на основании полученных рентгенографических данных строились кривые атомного распределения по методике, описанной в работе ⁽³⁾. Полученные для висмута кривые сравнивались с кривыми, построенными по формуле (1) для различных исходных решеток и выбиралась та решетка, «размыванием» которой наиболее удачно можно описать структуру жидкого висмута. Такой решеткой оказалась гексагональная плотноупакованная.

Определение величины коэффициента структурной диффузии проводилось подбором его величины в уравнении (1) с последующим сравнением теоретической и экспериментальной кривых для данной температуры. В связи с тем, что формула (1) применима, вообще говоря, в области температур, не слишком близких к температуре плавления, необходимо произвести «приведение»

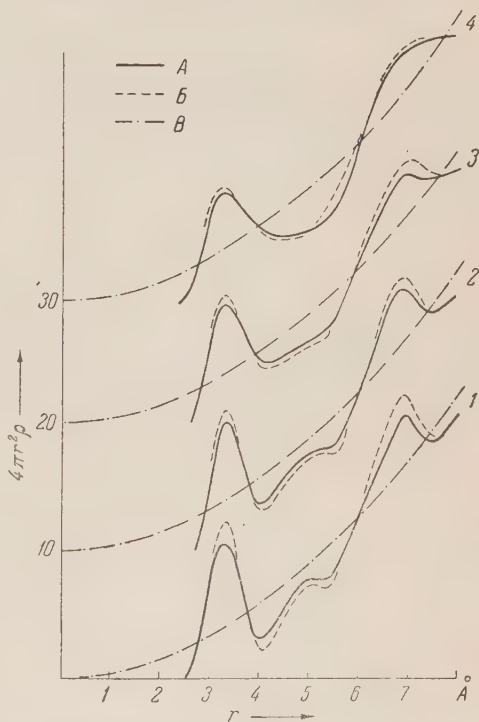


Рис. 1. Кривые атомного распределения для висмута: А — полученные из опыта; В — теоретические, полученные при подборе оптимальных величин D ; В — для однородного распределения при температурах: 1—279°, 2—304°, 3—349°, 4—397°. Нулевая точка каждой кривой сдвинута относительно предыдущей на 10 единиц

теоретических кривых следующим образом. Полагая для точки кристаллизации $D = 0$, в формуле (1) величину f определяем так, чтобы теоретическая кривая распределения наилучшим образом совпадала с экспериментальной кривой, найденной для температуры, наиболее близкой к точке плавления. «Приведенное» значение f для висмута оказалось равным 7400 г/сек^2 . Зная величину f , в уравнении (1) можно подобрать оптимальные величины D для каждой температуры, дающие хорошие совпадения теоретических кривых $G(r)$ с экспериментальными.

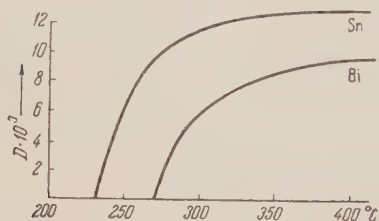


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента структурной диффузии для висмута и олова

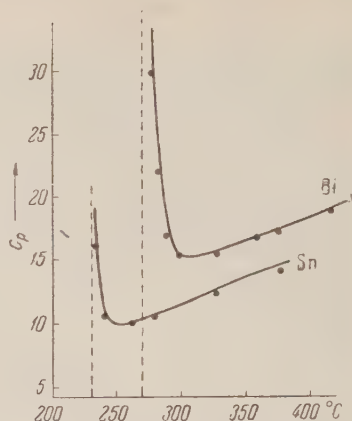


Рис. 3. Температурная зависимость c_p для висмута и олова

На рис. 1 изображены некоторые кривые атомного распределения для висмута. Рис. 2 изображает найденную таким образом температурную зависимость коэффициента структурной диффузии для висмута и олова, полученную нами ранее (³). Эта зависимость хорошо описывается выражением

$$D = D_{\max} \exp \left[-\frac{Q}{R(T - T_{\text{пл}})} \right] \quad (2)$$

где D_{\max} имеет смысл некоторого максимального коэффициента структурной диффузии при высокой температуре; Q — энергия «разрыхления» жидкости; $T_{\text{пл}}$ — абсолютная температура плавления данного металла. Константы D_{\max} и Q в данной работе определялись аналитическим и графическим методами, значения их даны в табл. 1.

Таблица 1

Элемент	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	D_{\max}	$Q, \frac{\text{кал}}{\text{моль}}$	$A, \text{эрг}$	$a, \text{\AA}$
Sn	505	0,014	36,0	$19,25 \cdot 10^{-12}$	4,30
Bi	544	0,010	12,6	$5,72 \cdot 10^{-12}$	4,70

Решение вопроса о зависимости D от температуры позволяет описать ход теплоемкости в жидкостях выше точки плавления. Так, в работе (²) дано выражение для теплоемкости при постоянном объеме в виде

$$c_v = \frac{1}{2} N A \sum_s n_s \exp[-\gamma(r_s - a)] \left[\gamma^2 \left(\frac{2k}{f} + 4r_s \frac{dD}{dT} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[\exp[\gamma^2(\alpha + 4Dr_s)] \exp[-\gamma(r_s - a)] - \frac{1}{2} \exp\left[\frac{\gamma^2(\alpha + 4Dr_s)}{4} \right] \right] \right]. \quad (3)$$

Зная c_v , можно получить значение c_p , которое, в свою очередь, может быть легко определено на опыте. Если найденная нами зависимость D от темпе-

ратуры в форме (2) верна, то при соответствующем подборе величин A и a в выражении (3) теоретическая и экспериментальная кривые $c_p = c_p(T)$ должны совпадать. Очевидно, значения констант, при которых получено это совпадение, будут соответствовать: A — энергии диссоциации двух-атомной «молекулы» металла и a — равновесному расстоянию между центрами атомов этой «молекулы».

На рис. 3 кривыми изображена полученная теоретически зависимость c_p от T для олова и висмута; точки соответствуют экспериментальным данным, полученным нами методом нагревания — охлаждения. Для построения теоретических кривых теплоемкости удобно было выбрать масштаб $\gamma = 1/\text{\AA}$, так как все расчеты ранее велись в ангстремах. Значения полученных констант даны в табл. I. Сравнение величин A с значениями энергии диссоциации газовых молекул показывает, что они близки друг к другу. Величины a лишь немного превосходят межатомные расстояния в твердых олове и висмуте, что и следует ожидать, имея в виду, что значения a должны соответствовать расстояниям между центрами атомов в парообразном состоянии. Совпадение теоретических и экспериментальных кривых зависимости теплоемкости от температуры позволяет считать, что найденная нами зависимость D от температуры верна.

Ворошиловский горно-металлургический
институт

Поступило
8 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. A. Prins, H. Petersen, *Physica*, **3**, 147 (1938). ² А. Е. Глауберман, *ЖЭТФ*, **22**, 249 (1952). ³ А. Е. Глауберман, В. П. Цветков, *ДАН*, **106**, 623 (1956).

ЧЭНЬ ЧУНЬ-СЯНЬ

МЕТОД УЧЕТА КОРРЕЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ МНОГИХ ЧАСТИЦ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 16 I 1959)

1. Центральной проблемой в квантовой статистике является учет корреляции между частицами. В течение более двух десятилетий, вплоть до 1955—1956 гг., работы в этой области в основном не выходили за рамки метода самосогласованного поля, т. е. модели независимых частиц, в которой динамической корреляции полностью пренебрегают. Начиная с серии работ Бракнера по теории ядерной материи⁽¹⁾, за последние 2—3 года добились существенных успехов в теории сверхпроводимости⁽²⁾, электронного газа⁽³⁾, ядерной материи⁽⁴⁾, бозе-газа⁽⁴⁾ в связи с разработкой соответствующих методов учета корреляционных эффектов в различных конкретных системах. Нам представляется, что отмеченные выше частные методы могут и должны быть объединены в единой, общей схеме учета корреляции в системе многих частиц.

В настоящей работе предлагается общая схема учета корреляции, получена цепочка интегральных уравнений для функций Грина системы многих частиц и предложен метод ее приближенного решения. Из бинарного приближения этого метода сразу следуют все отмеченные выше результаты. Предложенная схема идейно восходит к методу корреляционных функций Боголюбова⁽⁵⁾, а также работам Майера — Урселла по неидеальным газам⁽⁶⁾.

2. Рассмотрим n -частичную функцию Грина системы

$$G_n(x_1x_2 \dots x_n; x'_n \dots x'_1) = i \langle T \{ \psi(x_1) \dots \bar{\psi}(x_n) \psi^+(x'_n) \dots \psi^+(x'_1) \} \rangle, \quad (1)$$

которая удовлетворяет уравнению

$$G_n(x_1x_2 \dots x_n; x'_n \dots x'_1) = i \sum_{s=1}^n G_0(x_1x'_s) G_{n-1}(x_2 \dots x_n; x'_n \dots x'_{s+1}x'_{s-1} \dots x'_1) + \\ + \int I(y, y') G_0(x_1y) G_{n+1}(yx_2 \dots x_ny'; y'x'_n \dots x'_1) d^4y d^4y', \quad (2)$$

где $\psi(x)$ и $\psi^+(x)$ — квантованные волновые функции ферми-системы в гейзенберговском представлении; усреднение производится по основному состоянию полного гамильтониана $H = H_0 + H_{\text{int}}$; $x \equiv (x, t, s)$ — совокупность координат частицы; $G_0(xx')$ и $I(y, y')$ — функции распространения для свободной частицы и взаимодействия соответственно. Каждая $G_n(x_1 \dots x_n; x'_n \dots x'_1)$ представляет сумму вкладов от всех диаграмм Фейнмана с $2n$ внешними линиями, сканчивающимися в точках $x_1 \dots x'_n$. Каждая диаграмма может быть связанной или несвязанной. Основная идея данной работы заключается в разложении высших функций Грина по связанным диаграммам и их суммировании. Это может быть выполнено без труда применением техники, перенесенной из квантовой теории поля⁽⁷⁾. В результате получаем

$$G_1(x_1x'_1) = F_1(x_1x'_1), \\ G_2(x_1x_2; x'_2x'_1) = F_2(x_1x_2; x'_2x'_1) + iF_1(x_1x'_2)F_1(x_2x'_1) - iF_1(x_1x'_1)F_1(x_2x'_2) \quad (3)$$

и аналогичные выражения для G_3 и далее, где слева стоят всевозможные разбиения $(x_1 \dots x_n)$ по группам с учетом антисимметрии G_n и F_n . Корреляционная функция $F_n(x_1 \dots x_n; x'_1 \dots x'_1)$ представляет сумму вкладов от всех связанных диаграмм Фейнмана для функции Грина G_n , имеющих $2n$ внешних линий. (3) может считаться также определением новой последовательности корреляционных функций F_n . Подставляя (3) в (2), получим для F_n цепочку уравнений (при этом члены, соответствующие несвязанным диаграммам, автоматически сокращаются)

$$F_1(x_1 x'_1) = F_0(x_1 x'_1) + \int I(y, y') F_0(x_1 y) [F_2(y y'; y' x'_1) + i F_1(y y') F_1(y' x'_1) - i F_1(y' y') F_1(y x'_1)] d^4 y d^4 y',$$

$$F_0 \equiv G_0; \quad (4a)$$

$$F_2(x_1 x_2; x'_2 x'_1) = \int I(y y') F_0(x_1 y') [F_3(y x_2 y'; y' x'_2 x'_1) - i F(y x'_1) F_2(x_2 y'; y' x'_2) +$$

$$+ i F_1(y x'_2) F_2(x_2 y'; y' x'_1) + i F_1(x_2 y') F_2(y y'; x'_2 x'_1) + i F_1(y' x'_2) F_2(y x_2; y' x'_1) -$$

$$- i F_1(y' x'_1) F_2(y x_2; y' x'_2) - i F_1(y' y') F_2(y x_2; x'_2 x'_1) - i F_1(y y') F_2(x_2 y' x'_2 x'_1) +$$

$$+ F_1(y x'_1) F_1(x_2 y') F_1(y' x'_2) - F_1(y x'_2) F_1(y' x'_1) F_1(x_2 y')] d^4 y d^4 y' \quad (4b)$$

и т. д.

3. Систему уравнений (4) очень удобно анализировать с помощью диаграмм Фейнмана (рис. 1). Как известно, G_1 описывает корреляцию одной вы-

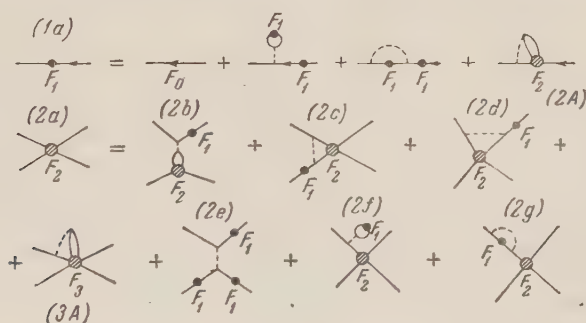


Рис. 1

деленной частицы с остальными частицами (диаграмма собственной энергии 1 а), а G_2 описывает корреляцию между собой двух выведенных частиц, взаимодействующих с фоном остальных частиц, и в общем случае G_n описывают корреляционный эффект с участием n частиц с учетом взаимодействия с фоном. Однако эти n частиц могут быть разделены на некоррелированные между собой группы (диаграммы для G_n распадаются на несвязанные компоненты). Мы определим порядок корреляционного эффекта как число участвующих частиц, которые не могут быть разделены на некоррелированные группы (вклад от всех связанных диаграмм). Очевидно, корреляционный эффект n -го порядка как раз описывается нашей функцией F_n , представляющей сумму вкладов от всех связанных диаграмм с $2n$ внешними линиями. Система (4) описывает именно такой усложняющийся с увеличением порядка процесс корреляции, поскольку F_n связана с F_{n+1} .

Сформулируем принцип ослабления корреляции, лежащий в основе метода приближенного решения (4): n -е приближение означает пренебрежение корреляционными эффектами всех порядков выше n , т. е. $F_m = 0$ при $m > n$. Отсюда следует, что в n -м приближении мы получаем замкнутую систему n интегральных уравнений для функций F_1, F_2, \dots, F_n .

4. Первое приближение, в котором $F_2 = 0$, соответствует методу самосогласованного поля. Вычеркивая из (4а) член с F_2 , мы получим уравнение, которое при равных временах переходит в квантовое кинетическое уравнение в приближении самосогласованного поля Фока. Оно было исследовано во многих работах ⁽⁸⁾ и оказывается пригодным для описания, например, эффектов, связанных с колебанием плотностей системы, и некоторых других вопросов. Приравнивая в (4b) член с F_3 нулю, мы получим систему из двух интегральных уравнений (4а), (4b), определяющих функции F_1 и F_2 (бинарное приближение). Из рис. 1 очевидно, что решение нашей системы уравнений эквивалентно суммированию всех диаграмм, комбинированных из диаграмм (2b) — (2g); отсюда сразу следует связь нашего метода с идеей суммирования диаграмм и метода приближенного вторичного квантования.

Чтобы убедиться в том, что из (4а), (4b) в бинарном приближении действительно следуют отмеченные выше результаты, рассмотрим несколько примеров. В случае дальнедействующего кулоновского взаимодействия существенным оказываются диаграммы (2b), (2e); при малых импульсах передатки вклады от них преобладают над другими членами в силу сингулярности $I(q)$ (фурье-образ функции распространения взаимодействия). Учитывая только эти члены, мы можем найти явное решение нашей системы, которая в данном случае сводится к двум алгебраическим уравнениям. По найденным выражениям для F_1 и F_2 мы можем вычислить все динамические величины в этом приближении: энергию основного состояния, энергию возбуждения индивидуальной пары электрон — дырка со всеми кулоновскими поправками и спектр плазменного колебания, а также экранированный потенциал взаимодействия. Полученные выражения оказываются тождественными с соответствующими результатами в приближении Гелл-Манна — Бракнера для плотного электронного газа ^(3, 9), т. е. в нашей схеме выполнены суммирование «наиболее расходящихся диаграмм» и точно вычислены первые два члена разложения динамических величин по параметру r_s . В случае короткодействующего и сильного взаимодействия следует учитывать диаграммы (2c) и (2e). Это означает разложение по безразмерному газовому параметру. При этом наша система приводится к уравнению для определения «четырехполюсник» G , через который выражаются все интересующие величины. Это уравнение эквивалентно уравнению для определения t -матрицы в теории ядерной материи Бракнера (лестничное приближение), и его решение может быть выражено через амплитуду рассеяния двух частиц. В случае сильного взаимодействия $I(q)$ может не существовать, но уравнение для G по-прежнему имеет смысл.

5. Система уравнений в бинарном приближении (4а), (4b) позволяет исследовать также связанные состояния в системе многих частиц. F_2 в зависимости от порядка временных аргументов описывает взаимодействие между двумя частицами (дырками) или между частицей и дыркой. Используя процедуру Гелл-Манн и Лоу для рассмотрения связанных состояний двух релятивистских частиц, мы можем получить уравнение для волновой функции для связанного состояния из частицы и дырки или из двух частиц. В первом случае мы имеем дело с рассмотренным в ⁽¹⁰⁾ уравнением для определения частоты нулевого звука или плазменного колебания в случае системы заряженных частиц. Во втором случае мы получим уравнения

$$\begin{aligned} \Phi_b(x_1 s_1; x_2 s_2) &= i \int F_0(x_1 - y) I(y - y') F_1(x_2 - y) \Phi_b(y s_1; y' s_2) d^4 y d^4 y', \\ F_1(x_1 - x'_1) &= F_0(x_1 - x'_1) + \\ &+ i \sum_{\alpha} \int F_0(x_1 - y) I(y - y') \Phi_b(y s; y' \alpha) \Phi_b^*(y' \alpha; x'_1 s) d^4 y d^4 y', \end{aligned}$$

которые, как известно из работ ^(11, 12), приводят к современной теории сверхпроводимости.

В заключение выражаю глубокую благодарность акад. Н. Н. Боголюбову и В. В. Толмачеву за внимание к работе и ценные указания.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
22 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. А. Вругескнер, С. А. Levinson, Phys. Rev., **97**, 1344 (1955).
² J. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schrieffer, Phys. Rev., **108**, 1175 (1957);
Н. Н. Боголюбов, ЖЭТФ, **34**, 58 (1958). ³ M. Gell-Mann, K. A. Вругескнер, Phys. Rev., **106**, 364 (1957); K. Sawada, Phys. Rev., **106**, 372 (1957);
⁴ К. А. Вругескнер, K. Sawada, Phys. Rev., **106**, 1117 (1957); T. D. Lee, K. Huang, C. N. Yang, Phys. Rev., **106**, 1135 (1957). ⁵ Н. Н. Боголюбов, Проблемы динамической теории в статистической физике, 1947. ⁶ H. Ursell, Proc. Camb. Phil. Soc., **23**, 685 (1927); Дж. Майер, М. Гепперт-Майер, Статистическая механика, ИЛ, 1952. ⁷ J. Hubbard, Proc. Soc. Roy., **A240**, 267 (1957). ⁸ В. П. Силин, Физ. мет. и металловед., **3**, 193 (1956). ⁹ Чэнь Чунь-сянь, Чжоу Си-шинь, ЖЭТФ, **34**, 1566 (1958). ¹⁰ А. Б. Мигдал, В. М. Галицкий, ЖЭТФ, **34**, № 1, 139 (1958). ¹¹ Л. П. Горьков, ЖЭТФ, **34**, 735 (1958). ¹² Н. Н. Боголюбов, препринт.

В. М. БОВШЕВЕРОВ, А. С. ГУРВИЧ и Л. Р. ЦВАНГ

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ТЕПЛА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

(Представлено академиком А. А. Дородницыным 20 I 1959)

Турбулентный поток тепла (т. п. т.) играет существенную роль в тепловом балансе подстилающей поверхности и атмосферы, однако т. п. т. является одной из наименее изученных компонент теплового баланса, что объясняется рядом методических трудностей, с которыми приходится сталкиваться при такого рода измерениях. До настоящего времени значения т. п. т. определяются главным образом косвенными методами, которые обычно не дают достаточно точных результатов. Большинство расчетных формул определено с точностью до постоянных коэффициентов или универсальных функций, найти которые можно только из экспериментальных данных по прямым измерениям т. п. т.

Прямые измерения т. п. т. ^(1, 5) основаны на использовании известного соотношения

$$q = \rho c_p \overline{T'W'};$$

здесь q — т. п. т.; ρ — плотность воздуха; c_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении; T' и W' — отклонения соответственно температуры и вертикальной составляющей скорости ветра от их средних значений; черта означает осреднение во времени.

Такие измерения проводились путем одновременной записи мгновенных значений температуры воздуха и вертикальной составляющей скорости ветра и последующей трудоемкой обработки результатов. В качестве датчика температуры использовались или термопары ⁽⁵⁾ или термометры сопротивлений ⁽²⁾. Недостатком применявшихся измерительных схем являлась необходимость частой подстройки «нуля» прибора, обусловленная изменениями средней температуры воздуха в процессе измерения. Для измерений вертикальной составляющей скорости ветра использовались термоанемометры ⁽³⁾, анемометры на подогревных термопарах ⁽⁵⁾ и др. Основными недостатками этих приборов являлись нелинейность их градуировочных характеристик, относительно большая инерционность и зависимость градуировки от величины и направления средней скорости ветра. Нелинейность датчиков вертикальной скорости затрудняет автоматизацию вычисления среднего произведения. Трудоемкость обработки записей результатов измерений обуславливала малую выборку экспериментальных данных и малый период осреднения. Так, в работе ⁽¹⁾ время осреднения составляло 30 сек., что, как это будет показано ниже, недостаточно.

В 1957—1958 гг. в акустической лаборатории Института физики атмосферы АН СССР была разработана новая методика непосредственного измерения т. п. т. и проведены предварительные измерения т. п. т. Общая схема измерения приведена на рис. 1.

Пульсации вертикальной составляющей скорости ветра W' измерялись с помощью акустического микроанемометра ⁽⁴⁾, принцип работы которого основан на измерении времени распространения звуковой волны в движу-

демя, относительно неподвижных микрофонов, воздухе. Микроанемометр имеет два 2-миллиметровых излучателя и два аналогичных по конструкции микрофона. Для измерения W' излучатели и микрофоны располагались в вертикальной плоскости на расстоянии 2,5 см друг от друга. Частота непрерывных ультразвуковых колебаний, на которых велись измерения, составляла 5—100 кгц. Величина и знак W' определялись по сдвигу фаз звуковой волны, пришедшей к микрофону. Чувствительность микроанемометра составляет 9 см/сек · в не зависит от средней скорости ветра. Выходное напряжение линейно зависит от измеряемой скорости ветра; диапазон прибора ± 2 м/сек. Микроанемометр без искажений измеряет пульсации скорости ветра в диапазоне частот 0—700 гц. Собственные шумы прибора не превышали (в пересчете на скорость ветра) 1 см/сек. Акустическая схема исключала влияние пульсаций температуры на измерения скорости ветра.

Для измерения флуктуаций температуры использовался пульсационный термометр сопротивления с датчиком в виде 20-микронной платиновой проволочки длиной 20 мм, включенной в мостовую схему. Постоянная времени

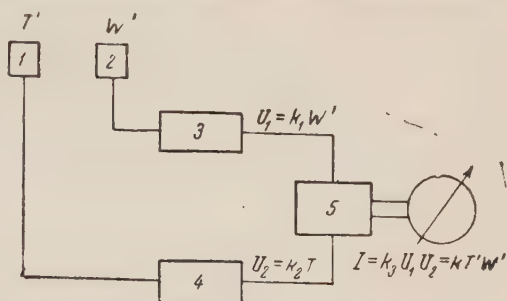


Рис. 1. Общая схема измерения турбулентного потока тепла. 1 — датчик пульсационного термометра, 2 — датчик микроанемометра, 3 — усилитель и фазометр микроанемометра, 4 — усилитель пульсационного термометра, 5 — коррелометр

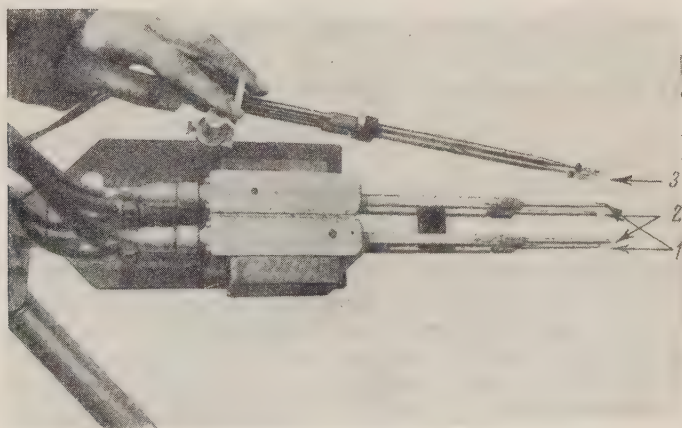


Рис. 2. Выносная головка микроанемометра и пульсационного термометра. 1 — микрофоны, 2 — излучатели, 3 — датчик пульсационного термометра

акого датчика по (3) порядка 0,01 сек. Параллельно одному из плеч измерительного моста подключено термосопротивление с косвенным подогревом. Подогрев термосопротивления осуществляется током в цепи отрицательной обратной связи усилителя напряжения разбаланса моста. В схему обратной связи включена интегрирующая RC-цепочка с большой постоянной времени. Благодаря такой схеме отрицательной обратной связи осуществляется плавное (с постоянной времени более 100 сек.) слежение «нуля» термометра за изменениями средней температуры воздуха. При измерениях температурных пульсаций с помощью такого термометра полностью падает необходимость в подстройке прибора в процессе измерений.

Максимальная чувствительность термометра $0,15^\circ\text{C}/\text{в}$, амплитудная характеристика линейна (для пульсаций) в пределах $\pm 2^\circ$. Собственные шумы термометра менее $0,01^\circ$. Таким образом в термометре обеспечивается высокая чувствительность к пульсациям в широком диапазоне изменений средних температур.

Получающиеся на выходе микроанемометра и термометра сопротивления напряжения U_1 и U_2 пропорциональны соответственно мгновенным значениям вертикальной составляющей скорости ветра $U_1 = k_1 W'$ и пульсациям температуры $U_2 = k_2 T'$. Эти напряжения поступают на два входа коррелометра — электронного устройства, ток I на выходе которого пропорционален среднему по времени произведению двух входных напряжений $I = k_3 \overline{U_1 U_2}$. Этот ток измеряется стрелочным прибором, шкала которого может быть про-

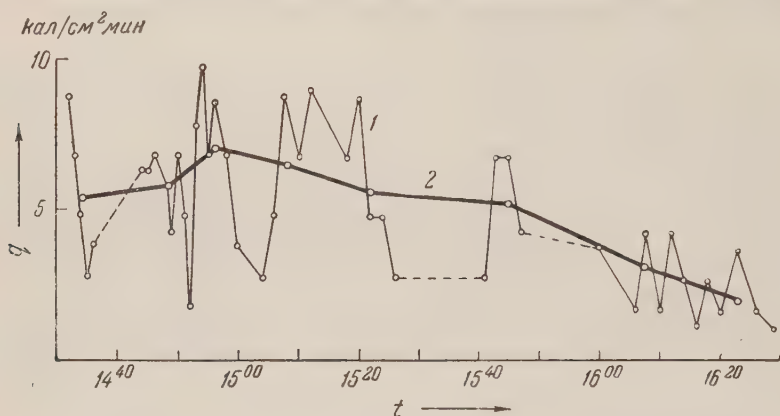


Рис. 3. Временной ход т. п. т. 7 IX 1958 г. 1 — осреднение 100 сек., 2 — осреднение 10 мин.

градуирована прямо в значениях турбулентного потока тепла:

$$q = k_4 I = k_5 \overline{W' T'}.$$

При указанных выше чувствительностях микроанемометра и пульсационного термометра и при максимальной чувствительности коррелометра цена деления его выходного прибора составляла $0,02 \text{ кал}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$. Осреднение произведения мгновенных значений $U_1 U_2$ осуществляется с помощью интегрирующей RC-цепочки с постоянной времени 100 сек. Датчики микроанемометра и пульсационного термометра крепились совместно на выносную головку (рис. 2) так, что расстояние между датчиками составляло около 3 см. В сентябре 1958 г. была проведена серия прямых измерений т. п. т. Измерения производились на ровной площадке размером $700 \times 600 \text{ м}$ в открытой степи и сопровождалась измерениями профилей температуры и ветра по высоте. По результатам этих градиентных измерений рассчитывались числа Ричардсона Ri^* . Параллельно с измерениями турбулентного потока тепла проводились измерения и статистический анализ (с помощью специально разработанных для этих целей анализаторов спектра и распределений) пульсаций температуры и компонент скорости ветра. Получавшиеся в результате обработки пульсационных измерений среднеквадратичные значения флуктуаций температуры и вертикальной составляющей скорости ветра ($\sqrt{\overline{T'^2}}$ и $\sqrt{\overline{W'^2}}$) наряду с величинами потока тепла $q = k \overline{W' T'}$ давали возможность рассчиты-

$$r_{W'T'} = \frac{\overline{W' T'}}{\sqrt{\overline{T'^2}} \sqrt{\overline{W'^2}}}.$$

* Измерения профилей температуры и скорости ветра и расчеты т. п. т. по ним проводила А. В. Перепелкина.

Поток тепла измерялся попеременно на высотах 1 и 4 м; всего было сделано 360 измерений q на высоте 1 м и 80 измерений на высоте 4 м. Измерения проводились с 2-минутными интервалами. Обработка результатов измерений показала, что 100-секундное осреднение, которому соответствует каждое отдельное измерение, недостаточно, так как при этом значения q получаются неустойчивыми. Было найдено, что для получения устойчивых значений q необходимо осреднение за время порядка 10 мин., как это видно из графика рис. 3.

Сопоставление коэффициентов корреляции $r_{W'T'}$ с соответствующими (по времени) числами Ричардсона, представленное на рис. 4, показывает, что с увеличением неустойчивости ($Ri \rightarrow -\infty$) растет и корреляция $W'T'$. Физически это вполне объяснимо, так как с ростом неустойчивости все большую роль в переносе тепла начинает играть конвекция.

Хотя одновременных измерений q на высотах 4 и 1 м не производилось, тем не менее по полученным результатам можно сказать, что величины q на этих двух высотах весьма близки между собой. Средняя величина отношения этих величин q_4/q_1 , полученная по 14 значениям q_4 и q_1 , измеренных в одинаковые времена суток, равна 1. Это хорошо согласуется с теоретическими соображениями, из которых следует, что турбулентный поток тепла с высотой не должен меняться. Заметим, что при определении потока тепла косвенными методами различия в величине q на разных высотах бывают весьма существенны.

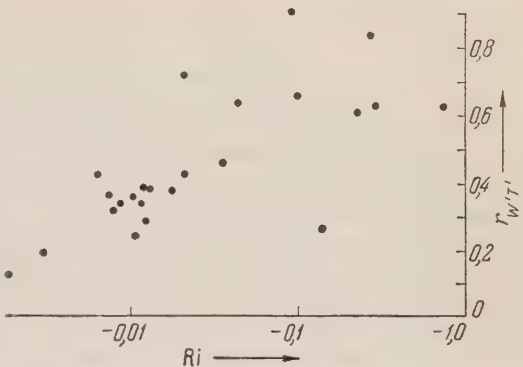


Рис. 4. Зависимость коэффициента корреляции $r_{W'T'}$ от числа Ричардсона Ri

Институт физики атмосферы
Академии наук СССР

Поступило
19 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. С. Монин, Сборн. Микроклиматические и климатические исследования в Прикаспийской низменности, Изд. АН СССР, 1953. ² С. И. Кречмер, ДАН, 84, № 1 (1952). ³ С. И. Кречмер, Тр. Геофизич. инст. АН СССР, № 24 (1954). ⁴ А. С. Гурвич, Акуст., журн. (1959), в печати. ⁵ Н. Е. Сгaмeг, G. C. Gill, F. A. Resord, Exploring the atmospheres first mile, 1, 1957, p. 216, 233.

Член-корреспондент АН СССР А. М. ОБУХОВ

О ВЛИЯНИИ АРХИМЕДОВЫХ СИЛ НА СТРУКТУРУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ

В работах ⁽¹⁻³⁾, посвященных теоретическому анализу вопроса о микро-структуре температурного поля в турбулентном потоке, пульсации температуры предполагаются настолько малыми, что действием архимедовых сил на динамику потока можно пренебречь. Другими словами, переносимое турбулентным потоком тепло трактуется как пассивная примесь. В настоящей заметке сделана попытка выяснить пределы применимости этой гипотезы на основе качественного рассмотрения действия архимедовых сил методами теории размерностей.

В дальнейшем нас будет интересовать случай, когда пульсации температуры $T_1 = T - T_0$ малы по сравнению с некоторой средней температурой среды T_0 , однако архимедовы силы принимаются во внимание. Условие $|T_1|/T_0 \ll 1$ с достаточной степенью точности выполняется для приземного слоя атмосферы и позволяет описывать движение температурно неоднородной среды приближенными уравнениями теории конвекции:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_1}{\partial x} + \nu \Delta u, \\ \frac{dv}{dt} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_1}{\partial y} + \nu \Delta v, \\ \frac{dw}{dt} &= -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_1}{\partial z} + \nu \Delta w + \beta T_1, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0, \\ \frac{dT_1}{dt} &= \kappa \Delta T_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где u, v, w — компоненты скорости потока; p_1 — отклонение давления от статического; $T_1 = T - T_0$ — отклонение температуры от нормы; ρ_0 — стандартное значение плотности среды; ν и κ — соответственно значения кинематической вязкости и температуропроводности среды; $\beta = g/T_0$ — «параметр плавучести», стоящий множителем в выражении архимедовой силы, отнесенной к единице массы βT_1 . (Вывод этой приближенной системы уравнений теории конвекции см., например, ⁽⁴⁾.)

Следует отметить, что турбулентность, развивающуюся в условиях действия архимедовых сил, мы не можем считать локально изотропной в обычном смысле, так как в уравнении динамики (1) координата z входит неравноправно с координатами x и y . В связи с этим мы будем рассматривать в качестве основной статистической характеристики поля температурных пульсаций структурную функцию в горизонтальной плоскости

$$H(r; z) = [\overline{T(M') - T(M)}]^2, \quad (2)$$

определенную для точек наблюдения M и M' , имеющих одну и ту же высоту z , причем r — расстояние между точками M и M' . Предположение о том, что

структурная функция в горизонтальной плоскости не зависит от ориентировки вектора $\overrightarrow{MM'}$, вытекает из гипотезы об «аксиальной изотропности» турбулентности — инвариантности статистических характеристик локальной структуры по отношению к вращениям вокруг оси z . Заметим, что исходные динамические уравнения (1) инвариантны по отношению к таким вращениям.

Ограничимся рассмотрением структурной функции $H(r; z)$ при произвольном фиксированном z в области «средних масштабов» $l_1 \ll r \ll z$, где

$l_1 \sim \sqrt[4]{\kappa^3/\varepsilon}$ — внутренний масштаб турбулентности, имеющий в атмосфере порядок 1 см. Для турбулентных возмущений среднего масштаба непосредственным действием вязкости теплопроводности можно пренебречь (значения коэффициентов ν и κ не существенны), и единственным размерным параметром динамической системы (1), который следует учитывать, является параметр β . В соответствии с основными идеями теории А. Н. Колмогорова (⁵), при изучении локальной структуры температурного поля в качестве внешних параметров, определяющих статистический режим пульсаций, естественно принять диссипацию энергии ε и «температурную диссипацию» N , впервые введенную в работе автора (¹). Напомним, что величина

$$N = \kappa (\text{grad } T)^2 \quad (3)$$

определяет скорость возрастания энтропии единицы массы среды вследствие процессов теплопроводности.

Определим теперь вид функции

$$H(r) = F(r; \beta, \varepsilon, N) \quad (4)$$

на основе соображений теории размерностей*.

Напишем размерности интересующих нас величин:

$$[H] = \theta^2, \quad [R] = L, \quad [\beta] = LT^{-2}\theta^{-1}, \quad [\varepsilon] = L^2T^{-3}, \quad N = \theta^2T^{-1},$$

где θ означает размерность температуры, T — время. Применяя известную П-теорему (⁷), получаем

$$H(r) = \frac{cNr^{2/3}}{\varepsilon^{1/3}} f\left(\frac{r}{L_*}\right), \quad (5)$$

где

$$L_* = \frac{\varepsilon^{3/4}}{N^{3/4}\beta^{3/2}} \quad (6)$$

единственный линейный масштаб, который можно построить из параметров β , ε и N ; $f(\rho)$ — универсальная безразмерная функция, нормированная в нуле $f(0) = 1$.

Для достаточно малых расстояний $r \ll L_*$, $\varphi(r/L_*) \simeq f(0) = 1$ и, следовательно,

$$H(r) \simeq c \frac{N}{\varepsilon^{1/3}} r^{2/3}, \quad (7)$$

т. е. влияние архимедовых сил оказывается несущественным (β выпадает), и мы получаем известный ранее результат — «закон $^{2/3}$ » для температурного поля (¹⁻³). Таким образом, масштаб L_* характеризует некоторый ми-

* Высота z не включена в число внешних параметров, так как структурная функция для малых масштабов $r \ll z$ определяется непосредственно по ε и N , которые, в свою очередь, зависят от высоты z . Для локальной структуры ветра это положение можно считать экспериментально проверенным (⁶). Вместе с тем при $r \sim z$ высоту следует учитывать независимо как «геометрический фактор».

нимальный размер неоднородностей, начиная с которого влияние архимедовых сил становится существенным. Заметим при этом, что указанный выше масштаб, конечно, определяется с точностью до числового множителя, и может оказаться, что этот множитель фактически меньше единицы*.

Попробуем теперь оценить порядок величины L_* в реальных условиях в приземном слое атмосферы, предполагая, что распределение ветра и температуры с высотой приближенно описываются логарифмическими законами

$$\bar{V}(z) = \frac{v_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}; \quad T(z) = T_* \ln \frac{z}{z_0} + \text{const},$$

где v_* и T_* определяются по экономическим данным; $\kappa = 0,4$ — постоянная Кармана; z_0 — шероховатость. Как показано в работе (9), диссипация энергии ε и величина N могут быть оценены по средним характеристикам v_* и T_* :

$$\varepsilon = \frac{v_*^3}{\kappa z}, \quad N = \frac{\kappa v_* T_*^2}{z}.$$

Подставляя эти оценки в выражение (6) для L_* , получаем

$$\frac{L_*}{z} = \frac{1}{\kappa^2} \frac{v_*^3}{[gzT_* / T_0]^{3/2}}, \quad (8)$$

откуда следует, что отношение L_* к z довольно быстро убывает с высотой. В соответствии с фактическими данными, приведенными в работах (6, 10), примем в качестве характерных значений $v_* = 0,3$; $T_* = 1$; $g = 10 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-2}$, $T_0 = 300^\circ$. Вычисляя по формуле (8) отношение L_*/z для высот $z = 3$; 30 и 75 м, получаем значения 10; 0,32 и 0,08, что отвечает величине самого масштаба L_* , соответственно, 30; 10 и 6 м. Таким образом, можно думать, что, начиная с некоторой высоты порядка нескольких десятков метров, эффект архимедовых сил окажется существенным для масштабов порядка нескольких метров**. Значения безразмерной функции $f(z/L_*)$ могут быть определены эмпирически на основе проведения соответствующих измерений характеристик структуры температурного поля.

Институт физики атмосферы
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. М. Обухов, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 1 (1949). ² А. М. Яглом, ДАН, 69, № 6 (1949). ³ S. Corrsin, J. Appl. Phys., 22, № 4, 419 (1951). ⁴ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Механика сплошных сред, гл. V, М., 1954. ⁵ А. Н. Колмогоров, ДАН, 30, № 4 (1941). ⁶ А. М. Обухов, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 3 (1951). ⁷ Л. И. Седов, Методы подобия и размерности в механике, М., 1954. ⁸ А. М. Обухов, А. С. Монин, Тр. Геофиз. инст. АН СССР, № 24 (151) (1954). ⁹ С. U. V. Priestley, Proc. Roy. Soc., 238, 287 (1957). ¹⁰ В. И. Татарский, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6 (1956).

* С аналогичной ситуацией мы встречаемся при изучении средних характеристик приземного слоя (8), где влияние конвекции также теоретически характеризуется некоторым масштабом L , таким, что для $z \sim L$ действие архимедовых сил становится существенным. Как показали исследования Пристли (9), характеристики приземного слоя оказываются весьма чувствительными к параметру z/L , и уже при $z \sim 0,1 L$ влияние конвекции становится заметным.

** Следует заметить, что для достаточно больших высот при неустойчивой стратификации энергия турбулентности и связанная с ней диссипация ε будет определяться в основном конвекцией. Этот предельный режим требует специального рассмотрения.

К. Ф. ТЯПКИН

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ КОНЕЧНЫМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ТЕЛАМИ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 19 I 1959)

Известны прямые способы интерпретации гравитационных аномалий⁽¹⁻³⁾, обусловленных как двумерными, так и трехмерными телами. Но в связи с относительной простотой первых по сравнению со вторыми при количественных расчетах аномалий их часто считают без достаточных на то оснований обусловленными двумерными телами. Определение границ применимости такого предположения в общем случае представляет довольно сложную задачу, произвольное же использование предположения бесконечности простираения изучаемых объектов при интерпретации гравитационных аномалий может привести к существенным неточностям.

Выясним величину этих неточностей и возможные пути их учета с целью повышения достоверности результатов интерпретации. Для решения этой задачи рассмотрим гравитационный эффект, обусловленный конечным цилиндрическим телом произвольного сечения длиной $2b$ по простираению с образующими, параллельными земной поверхности (рис. 1). Выберем координатную систему как показано на рис. 1; тогда для профиля, проходящего через середину тела перпендикулярно его простираению, можно записать

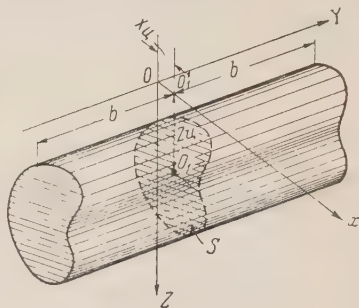


Рис. 1

$$\begin{aligned} V_x &= -2k\sigma \iint_{(S)} \frac{(x-a)dS}{[(x-a)^2 + z^2] \sqrt{(x-a)^2 + b^2 + z^2}}; \\ V_z &= 2k\sigma \iint_{(S)} \frac{z dS}{[(x-a)^2 + z^2] \sqrt{(x-a)^2 + b^2 + z^2}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где V_x и V_z — производные гравитационного потенциала; a и z — координаты точек возмущающего тела; S — площадь поперечного сечения тела; k — гравитационная постоянная; σ — избыток или дефект плотности; x — текущая координата, определяющая положение прибора на линии исследования.

Вычислим выражения вида:

$$I_1 = \int_{-\infty}^{\infty} V_z dx; \quad I_2 = \int_{-\infty}^{\infty} x V_z dx; \quad I_3 = \int_{-\infty}^{\infty} \left[x V_x + \frac{2k\sigma S}{\sqrt{b^2 + x^2}} \right] dx. \quad (2)$$

Выполняя указанные операции, получим

$$\begin{aligned} I_1 &= 4k\sigma \iint_{(S)} \left[\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b} \right] dS = 2\pi k\sigma S - 4k\sigma \iint_{(S)} \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS; \\ I_2 &= 4k\sigma \iint_{(S)} \left[\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b} \right] a dS = 2\pi k\sigma S x_{ц} - 4k\sigma \iint_{(S)} a \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS; \\ I_3 &= 4k\sigma \iint_{(S)} \left[\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{z}{b} \right] z dS = 2\pi k\sigma S z_{ц} - 4k\sigma \iint_{(S)} z \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS, \end{aligned} \quad (3)$$

где $x_{ц}$ и $z_{ц}$ — координаты центра тяжести поперечного сечения тела.

Можно показать, что в частном случае при $b \rightarrow \infty$ вторые члены правой части равенств (3) обращаются в нуль, и мы приходим к уже известным соотношениям между потенциальными функциями на бесконечной прямой и параметрами двухмерного тела:

$$I_{1\infty} = 2\pi k\sigma S; \quad I_{2\infty} = 2\pi k\sigma S x_{ц}; \quad I_{3\infty} = 2\pi k\sigma S z_{ц}. \quad (4)$$

Во всех остальных случаях равенство (4) соблюдаться не будет, причем отклонения будут тем больше, чем меньше протяженность тела по простиранию.

Таким образом, для того чтобы воспользоваться формулами плоской задачи с целью определения площади поперечного сечения и координат центра тяжести, необходимо в вычисленные значения I_1 , I_2 и I_3 ввести поправки Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 :

$$I_{1\infty} = I_1 + \Delta_1; \quad I_{2\infty} = I_2 + \Delta_2; \quad I_{3\infty} = I_3 + \Delta_3, \quad (5)$$

где

$$\Delta_1 = 4\pi\sigma \iint_{(S)} \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS; \quad \Delta_2 = 4\pi\sigma \iint_{(S)} a \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS; \quad \Delta_3 = 4\pi\sigma \iint_{(S)} z \operatorname{arctg} \frac{z}{b} dS. \quad (6)$$

Полагая $b > z$, разложим выражение $\operatorname{arctg} \frac{z}{b}$ под интегралами в ряд. В этом случае (6) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= 4k\sigma \left[\frac{1}{b} \iint_{(S)} z dS + \frac{1}{3b^3} \iint_{(S)} z^3 dS + \dots \right]; \\ \Delta_2 &= 4k\sigma \left[\frac{1}{b} \iint_{(S)} az dS + \frac{1}{3b^3} \iint_{(S)} a z^3 dS + \dots \right]; \\ \Delta_3 &= 4k\sigma \left[\frac{1}{b} \iint_{(S)} z^2 dS + \frac{1}{3b^3} \iint_{(S)} z^4 dS + \dots \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

В качестве первого приближения можно ограничиться первыми членами ряда:

$$\Delta_1 \cong \frac{4k\sigma}{b} \iint_{(S)} z dS; \quad \Delta_2 \cong \frac{4k\sigma}{b} \iint_{(S)} az dS; \quad \Delta_3 \cong \frac{4k\sigma}{b} \iint_{(S)} z^2 dS. \quad (8)$$

Но даже при этом ограничении точно вычислить значения Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 не представляется возможным. Вычисление их можно провести методом последовательных приближений.

В качестве первого приближения величину Δ_1 из третьего выражения (2) можно принять следующей:

$$\Delta_1 = \frac{2}{\pi b} I_3. \quad (9)$$

Величину Δ_2 можно вычислить, воспользовавшись в качестве первого приближения аналогичным интегралом для плоского поля ⁽²⁾

$$\Delta_2 = -\frac{1}{\pi b} \int_{-\infty}^{\infty} \left[x^2 V_x + \frac{1}{\pi} I_2 \right] dx. \quad (10)$$

Вычисление Δ_3 представляет более сложную операцию. Соотношений, непосредственно связывающих момент $\iint_{(S)} z^2 dS$ с распределением потенциальных функций на бесконечной линии, неизвестно даже для плоского поля. Можно воспользоваться известным соотношением ⁽²⁾ между разностью двух моментов относительно осей x и z :

$$2\pi k\sigma \iint_{(S)} (z^2 - a^2) dS = \int_{-\infty}^{\infty} [2k\sigma z_{ц} S - x^2 V_z] dx. \quad (11)$$

Исходя из (11), для тел, имеющих сечение, вытянутое в вертикальном направлении, в качестве первого приближения можно принять

$$\Delta_3 = \frac{2}{\pi b} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{\pi} I_3 - x^2 V_z \right] dx - \frac{2}{\pi b} \frac{I_2^2}{I_1}. \quad (12)$$

Для тел, имеющих сечение, вытянутое в горизонтальном направлении, в качестве первого приближения можно принять

$$\Delta_3 = \frac{2}{\pi b} \frac{I_3^2}{I_1}. \quad (13)$$

Разделение двух упомянутых случаев сравнительно легко может быть выполнено с помощью равенства (11) путем предварительного пересчета разности моментов к осям, проходящим через центр тяжести сечения. Определив таким образом первые приближения Δ_1 , Δ_2 и Δ_3 , вычисляем первые приближения $I_1 \infty$, $I_2 \infty$ и $I_3 \infty$, а из (4) находим значения $x_{ц}$, $z_{ц}$ и S , соответствующие этому приближению. Повторив несколько раз такую операцию, мы получим уточненное значение площади поперечного сечения и координат центра тяжести тела.

Для практического использования предлагаемых соотношений необходимо знать величину горизонтальной протяженности тела $2b$ и значения V_x на линии наблюдения, как правило, не измеряемые в современной практике. Величина $2b$ легко может быть определена с достаточной для наших целей точностью по положению абсцисс экстремальных значений горизонтальных градиентов V_z в направлении простирания тела, а значения V_x можно вычислить по результатам инструментальных измерений V_z , пользуясь известным соотношением ⁽⁴⁾ между вертикальными и горизонтальными градиентами потенциала на бесконечной плоскости.

Днепропетровский горный институт
им. Артема

Поступило
4 IV 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. А. Гамбурцев, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 4 (1938).
² А. А. Заморев, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 3 (1939). ³ А. П. Казанский, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 2—3 (1938). ⁴ Н. Р. Малкин, Изв. АН СССР, Отд. физ.-матем. наук, № 8 (1930).

А. ГУТМАН

ПРИМЕНЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ
ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ
ВОЛНОВОДНЫХ И РЕЗОНАТОРНЫХ ЗАДАЧ

(Представлено академиком В. А. Фоком 15 I 1959)

Продольное распределение поля в волноводах сложной формы описывается бесконечной системой линейных дифференциальных уравнений для амплитудных коэффициентов различных типов волн ^(3, 5). Если поперечные параметры волновода меняются вдоль направления распространения (z) достаточно постепенно, то связями между различными типами волн, вообще говоря, можно пренебречь. Тогда система распадается, и для каждой волны может быть написано линейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$d^2 f / d\zeta^2 = p(\zeta) f, \quad (1)$$

где $f = h_e, e_h$; $\zeta = kz$; h_e — амплитудный коэффициент магнитного поля E -волны; e_h — амплитудный коэффициент электрического поля H -волны; $k = 2\pi / \lambda$ — волновое число; $p(\zeta)$ может иметь различный вид в зависимости от степени приближения, принятой в задаче. При последовательном пренебрежении малыми второго порядка относительно меры изменения

поперечных параметров волновода $p(\zeta) = -1 + \frac{\kappa_{e,h}^2}{k^2}$, где κ_e, κ_h — критические числа соответственно E - и H -волн.

Во всех случаях $p(\zeta)$ — медленно меняющаяся функция ζ , что дает возможность использовать для приближенного решения уравнения (1) метод Бриллюэна, Вентцеля, Крамерса (БВК) ^(3, 4). Метод БВК перестает быть применимым, если внутри рассматриваемого промежутка функция $p(\zeta)$ обращается в нуль, т. е. изучаемый отрезок волновода содержит критическое сечение. В этом случае можно воспользоваться асимптотическими методами интегрирования уравнения (1) в расширенной области ^(1, 2), в основе которых лежит сопоставление уравнению (1) некоторого другого, так называемого присоединенного уравнения

$$d^2 y / dt^2 = I(t) y, \quad (2)$$

решение которого можно найти в явном виде. Между переменными уравнения (2) и уравнения (1) устанавливается зависимость

$$\zeta = \zeta(t), \quad f(\zeta) = \sqrt{d\zeta/dt} y(t). \quad (3)$$

Тогда, если в рассматриваемом интервале $\Delta\zeta$ дифференциальное выражение $s(t) = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dt^2} \left(\ln \frac{d\zeta}{dt} \right) + \frac{1}{4} \left[\frac{d}{dt} \left(\ln \frac{d\zeta}{dt} \right) \right]^2$, которое называют производной Шварца, мало, можно, вообще говоря, с помощью решений уравнения (2) построить приближенные решения уравнения (1) в этом интервале.

Если рассматриваемый промежуток $\Delta\zeta$ содержит простой корень $\zeta = \zeta_0$ функции $p(\zeta)$, то в качестве присоединенного уравнения удобно выбрать дифференциальное уравнение функции Эйри (1) $d^2 y / dt^2 = ty$, общий ин-

теграл которого может быть записан в виде $y = Au(t) + Bv(t)$, где $u(t)$ и $v(t)$ — функции Эйри. Если зависимость $\zeta = \zeta(t)$ выбрана в виде

$$\begin{aligned} \int_{\zeta_0}^{\zeta} \sqrt{-p(\zeta)} d\zeta &= {}^{2/3}(-t)^{3/2} \quad (\zeta > \zeta_0, t < 0); \\ \int_{\zeta}^{\zeta_0} \sqrt{p(\zeta)} d\zeta &= {}^{2/3}t^{3/2} \quad (\zeta < \zeta_0, t > 0), \end{aligned} \quad (4)$$

то медленность изменения функции $p(\zeta)$ обеспечивает малость производной Шварца в рассматриваемом промежутке $\Delta\zeta$, в том числе и в окрестности корня ζ_0 . Поэтому приближенное решение уравнения (1) можем получить, возвращаясь к первоначальной функции f :

$$f = \sqrt[4]{t/p(\zeta)} [Au(t) + Bv(t)], \quad (5)$$

где t определяется из формул (4). Используя асимптотические выражения для функций Эйри (1), можно убедиться, что вдали от корня функции $p(\zeta)$ решения (5) переходят в решения, получаемые по методу БВК.

Укажем две резонаторные задачи, в которых оказывается удобным применение асимптотического интегрирования в расширенной области.

I. Бесконечный волновод с последовательными расширением и сужением в конечной области (рис. 1, I). Такая система является резонатором для тех типов волн, которые могут распространяться в какой-то части расширенной области волновода и затухают вне ее. Функция $p(\zeta)$ для этих двух типов волн будет иметь два корня, соответствующие двум критическим сечениям $z = z_0$ и $z = z_l$. Краевыми условиями для $f(\zeta)$ будет требование конечности решения на всей оси. Тогда уравнению (1) можно сопоставить (2) уравнение

$$d^2y/dt^2 = -(2n + 1 - t^2)y \quad (6)$$

с такими же краевыми условиями для функции $y(t)$. Параметр n в уравнении (6) принимает только целые значения и определяет число нулей собственной функции задачи $y_n(t) = e^{-t^2/2} H_n(t)$, где $H_n(t)$ — n -й полином Эрмита. Зависимость между переменными t и ζ задается соотношением

$$dt/d\zeta = \sqrt{-p(\zeta)/\varphi(t)}, \quad \varphi(t) \equiv 2n + 1 - t^2, \quad (7)$$

к которому добавляется требование, чтобы оно приводило в соответствие корни t_1 и t_2 функции $\varphi(t)$ корням $\zeta_0 = kz_0$ и $\zeta_l = kz_l$ функции $p(\zeta)$ и интервал изменения t — интервалу изменения ζ . Оказывается, что в этом случае медленность изменения $p(\zeta)$ также обеспечивает малость производной Шварца как в окрестности корней $p(\zeta)$, так и между ними, например в окрестности точки $t = 0$, где саму функцию можно приближенно считать постоянной. В этом можно убедиться, рассмотрев соответствующие выражения для производной Шварца, данные в работе М. И. Петрашень (2). Отсюда следует, что в качестве приближенного выражения для собственных функций задачи, дающих продольное распределение поля при свободных колебаниях резонатора, можно принять функции

$$f_n = \sqrt{d\zeta/dt} y_n(t). \quad (8)$$

Собственные числа, а следовательно, и резонансные длины волн резонатора определяются из требования соответствия интервалов изменения t и ζ и корней t_1 и t_2 корням ζ_0 и ζ_l . Наложение этого требования на соотношение (7) приводит к равенству

$$\int_{\zeta_0}^{\zeta_l} \sqrt{-p(\zeta)} d\zeta = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{2n + 1 - t^2} dt, \quad (9)$$

которое может быть выполнено лишь при определенных — резонансных значениях параметра $k = k_l$, входящего в функцию $p(\zeta)$. После интегрирования в правой части (9) получим уравнение для определения k_l

$$\int_{\zeta_0}^{\zeta_l} \sqrt{V - p(\zeta)} d\zeta = (n + 1/2) \pi. \quad (10)$$

II. Полубесконечный волновод с расширением у торца волновода (рис. 1, II). Здесь также возможен резонанс тех типов волн, которые распространяются в части расширенной области и затухают вне ее. Функция $p(\zeta)$ для этих типов волн имеет единственный корень, соответствующий одному критическому сечению волновода $z = z_0$. Следовательно, в качестве приближенного решения уравнения (1) можем опять принять выражение (5), на которое надо теперь наложить краевые условия: требование конечности решения при $z < z_l$ и условие, вытекающее из равенства нулю касательной составляющей электрического поля на идеально проводящей торцевой стенке волновода ($z = z_l$).

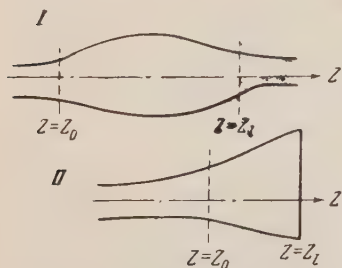


Рис. 1

Так как функция Эйри $u(t)$ неограниченно возрастает при больших положительных t (1), то для удовлетворения требования конечности функции f при $z < z_l$ необходимо положить в выражении (5)

$$A = 0. \quad (11)$$

Второе условие для H -волн дает

$$f(\zeta_l) = e_h(\zeta_l) = 0. \quad (12)$$

Для E -волн соотношение между амплитудными коэффициентами электрического и магнитного полей с точностью до постоянного множителя имеет вид

$$e_e = \frac{dh_e}{dz} + \frac{1}{\kappa_e} \frac{d\kappa_e}{dz} h_e.$$

Отсюда имеем второе условие для E -волн

$$\left[f' + \frac{\kappa'_e}{\kappa_e} f \right]_{\zeta=\zeta_l} = 0. \quad (13)$$

Накладывая условия (11) и (12) на решение (5), получим уравнение

$$v(t)|_{\zeta=\zeta_l} = 0. \quad (14)$$

Если τ_s^0 — s -й корень функции $v(t)$, то из соотношения (4) можно написать уравнение для определения резонансных значений волнового числа для H -волн

$$\int_{\zeta_0}^{\zeta_l} \sqrt{V - p} d\zeta = 2/3 (-\tau_s^0)^{3/2}. \quad (15)$$

Таким же образом, накладывая на решение (5) условия (11) и (13), получим для E -волн уравнение, соответствующее уравнению (14) для H -волн, и если τ'_s — корни этого уравнения, то

$$\int_{\zeta_0}^{\zeta_l} \sqrt{V - p} d\zeta = 2/3 (-\tau'_s)^{3/2}. \quad (16)$$

будет уравнением для определения резонансных волновых чисел E -волн.

В заключение приведем сравнительные данные рассчитанных и экспериментально определенных резонансных длин волн для волновода, изображенного на рис. 2. В этой системе выход на круговое сечение осуществляется с помощью двух винтовых волноводов. Сечение каждого из них есть сектор постоянного радиуса $a = 30$ мм, расширяющийся от $\alpha = 30^\circ$ до $\alpha = 180^\circ$. Шаг винта равен 1010 мм. Волновод заканчивается решеткой, состоящей из тонких радиально расположенных перегородок. Основная волна, возбуждавшаяся в системе, — волна TE_{01} . Для волны высшего порядка решетка практически играет роль проводящей стенки. Расчет производился для волны TE_{21} , так как из волн высшего порядка в описанной системе наиболее вероятно возбуждение этой волны ⁽⁶⁾. Оказалось, что в диапазоне измерений (3,06—3,9 см) для волны TE_{21} должны иметь место три резонанса. Полученные из соотношения (15) резонансные длины волны сравнивались с длинами волн, при которых отмечались минимумы измеренного в этом диапазоне кбв для основной волны. Основанием для такого сравнения является то, что резонансы волн высшего порядка приводят к большим потерям передачи для основной волны даже при слабой связи между этими волнами ⁽⁷⁾. Сравнение дало соответствие трех резонансов волны TE_{21} трем наиболее крупным провалам кбв в диапазоне измерений.

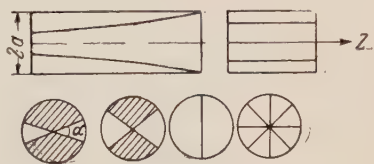


Рис. 2

Рассчитанные резонансные длины волн, см	3,250	3,487	3,766
Длины волн минимумов кбв, см	3,245	3,493	3,752

Таким образом, описанный метод расчета дает удовлетворительные результаты, несмотря на допущения в применении формул, полученных для полубесконечного волновода с идеально проводящими стенками, к реальной системе (рис. 2).

Автор выражает благодарность Б. М. Машковцеву за предоставление экспериментальных данных, использованных в настоящей статье.

Поступило
13 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. А. Фок, Таблицы функций Эйри, М., 1946. ² М. И. Петрашень, Уч. зап. ЛГУ, 120, в. 7, 60 (1949). ³ A. F. Stevenson, J. Appl. Phys., 22, 12, 1447 (1951). ⁴ Б. З. Каценеленбаум, ДАН, 102, № 4 (1955). ⁵ Б. Ф. Емелин, Радиотехн. и электроника, 3, в. 5, 615 (1958). ⁶ Дж. К. Саусворт, Принципы и применение волноводной передачи, М., 1955. ⁷ A. P. King, E. A. Marcatili, Bell Syst. Techn. J., 8, 4, 899 (1956).

Р. В. ВИЗГЕРТ, Е. К. САВЧУК и М. П. ПОНОМАРЧУК

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГИДРОЛИЗА НИТРОЗАМЕЩЕННЫХ АРИЛСУЛЬФОНАТОВ С ПОМОЩЬЮ O^{18}

(Представлено академиком М. И. Кабачником 15 I 1959)

Реакции гидролиза сложных эфиров могут протекать по ацилкислородному (¹⁻³) или алкилкислородному механизму (⁴) (реже по обоим одновременно (⁵)). Существенное влияние на механизм гидролиза оказывает электро-

отрицательность радикалов R и R' в эфире $R - \overset{\overset{O}{\parallel}}{C} - OR'$ (⁶), а также наличие

заместителей, создающих пространственные препятствия в месте реакции (⁷⁻⁹). Эфиры карбоновых кислот и первичных алифатических спиртов, замещенных бензиловых спиртов и фенолов гидролизуются по ацилкислородному механизму (¹⁰⁻¹³). Алкилкислородному механизму благоприятствует увеличение силы кислоты (⁶) и введение электродонорных групп в R', увеличивающих его стабильность в виде карбониевого иона, как это имеет место у эфиров третичных спиртов (¹⁴). Вопрос о месте разрыва связи решается однозначно с помощью изотопного метода. Изучение кинетики гидролиза сложных эфиров позволяет судить о деталях механизма реакции, в частности решить, протекает она как реакция S № 1 или S № 2. Можно считать установленным, что алкильные эфиры замещенных бензолсульфокислот $XArSO_2OR$ гидролизуются с разрывом связи по алкилу (¹⁵), причем, если R — радикал первичного спирта, то реакция протекает по S № 2 механизму (^{16, 17}), если R — радикал бензильного (¹⁸), циклоалкилового (¹⁹), вторичного или третичного алифатического спирта (²⁰), то гидролиз происходит по ионному S № 1 механизму. Вопрос о месте разрыва связи и о механизме гидролиза ариловых эфиров ароматических сульфокислот долгое время оставался открытым. В настоящее время имеется лишь одна работа на эту тему, в которой с помощью H_2O^{18} был доказан ацилкислородный путь гидролиза фенил-*н*-толуолсульфоната (²¹). Наши исследования по кинетике гидролиза арилсульфонатов (²²⁻²⁴) подтверждают для них ацилкислородный S № 2 механизм.

Из наших данных по исследованию кинетики гидролиза арилсульфонатов следует, что введение электрофильных заместителей как в кислотную, так и особенно в спиртовую составляющую эфира резко увеличивает скорость гидролиза. Арилсульфонаты, содержащие две и даже одну нитрогруппу в фенольной части молекулы, в отличие от других замещенных арилсульфонатов гидролизуются водой и обнаруживают арилирующие свойства реакции с аммиаком и аминами (^{25, 26}).

Учитывая, что в указанных реакциях эти эфиры реагируют с разрывом связи $O - Ar$, подобно алкилсульфонатам, было интересно исследовать щелочной и нейтральный гидролиз нитрозамещенных арилсульфонатов тяжелоокислородной водой с целью выяснения места разрыва связи при гидролизе.

В настоящей работе щелочному гидролизу посредством H_2O^{18} были подвергнуты: фенил-4-нитробензолсульфонат (I), 4-нитрофенилбензолсульфо-

нат (2), 2,4-динитрофенил-2-нитробензолсульфонат (3), 2,4-динитрофенил-*n*-толуолсульфонат (4). Нейтральному гидролизу тяжелоокислородной водой были подвергнуты эфиры (3 и 4), а также 2,4-динитрофенилбензолсульфонат. Эфиры были получены при взаимодействии соответствующих сульфохлоридов с фенолятами в абсолютном спирте (25). Чистота эфиров контролировалась по температурам плавления и анализу на серу.

Щелочной гидролиз производился в диоксано-водной среде, содержащей 70% диоксана. Эфир и щелочь брались в отношении 1 : 3. Реакция проводилась в термостате при температуре 80° в колбах с обратным холодильником в течение 6 часов. После окончания реакции водно-диоксановый раствор отгонялся досуха в вакууме.

Возникшие при гидролизе соли сульфокислот и фенола, а также непрореагировавшая щелочь растворялись в небольшом количестве воды и нейтрализовались соляной кислотой. Для выделения фенолов кислый раствор обрабатывался эфиром, эфирные вытяжки сушились, выпаривались, выделившийся фенол перегонялся в вакууме, а *n*-нитрофенол и динитрофенол очищались дополнительной кристаллизацией. Оставшийся после экстракции водный раствор сульфокислот нейтрализовался едким кали и выпаривался. Выпавшие соли перекристаллизовывались несколько раз из воды, сушились в эксикаторе и дополнительно перекристаллизовывались из спирта.

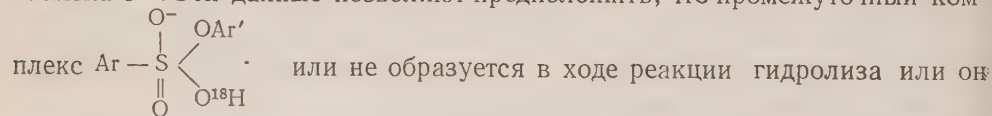
Нейтральный гидролиз проводился также в воднодиоксановых растворах, но нагревание продолжалось 40—50 часов. По окончании реакции кислый раствор нейтрализовался КОН. Выделение и очистка фенолов и солей сульфокислот производились так же, как это было описано выше.

Оба продукта гидролиза — фенол и соль сульфокислоты, а также исходная вода анализировались на содержание O^{18} (27, 28). Анализ показал, что фенолы практически не содержали избытка тяжелого кислорода: в них было найдено от нуля до 0,02% избытка этого изотопа сверх природного вместо 1,05% в опытах щелочного гидролиза и 1,2% в опытах нейтрального гидролиза. Соли сульфокислот содержали O^{18} в количестве весьма близком к тому, которого следовало ожидать в случае перехода в их молекулу одного атома кислорода из тяжелоокислородной воды (0,96—0,98% в опытах щелочного гидролиза и 1,11—1,13% в опытах нейтрального гидролиза). Эти данные показывают, что все исследованные арилсульфонаты (при нейтральном и щелочном гидролизе) гидролизуются по ацилкислородному механизму по схеме:



Учитывая данные предыдущих кинетических исследований можно предположить, что гидролиз осуществляется в результате нуклеофильной атаки иона OH^- на положительно заряженный атом серы.

С целью выяснения промежуточных стадий в механизме гидролиза арилсульфонатов мы провели нейтральный гидролиз эфиров 2,4-динитрофенил-2-нитробензолсульфокислоты и 2,4-динитрофенил-*n*-толуолсульфокислоты, не доведя его до конца. Непрореагировавшие остатки эфиров не содержали избытка O^{18} . Эти данные позволяют предположить, что промежуточный ком-



теряет феноксидные ионы быстрее, чем ионы OH^- , или, наконец, перемещение протона от одного атома кислорода к другому в этом комплексе не успевает произойти до его распада и атомы кислорода таким образом не обезличиваются. В этом отношении арилсульфонаты проявляют сходство с фениловым эфиром бензолсульфокислоты, для которого также не наблюдалось в процессе его гидролиза обмена кислорода (30). В противоположность этому алкилбензоаты (при их гидролизе) обнаруживают кислородный обмен (31).

Тот факт, что у нитрозамещенных арилсульфонатов в реакции с аминами разрывается связь $O - Ag$ (²⁶), а при нейтральном и щелочном гидролизе связь $S - O$ можно объяснить тем, что исследованные эфиры по своим свойствам приближаются к кислотным ангидридам, так что расщепление их молекул может происходить по обоим сторонам эфирного кислорода, причем направление разрыва связей зависит от условий и партнера в реакции. Таким образом, наши данные об ацилкислородном пути гидролиза исследуемых эфиров не противоречат арилирующему действию некоторых из них.

Мы также изучили возможность изотопного обмена кислорода между H_2O^{18} и диоксаном, бензолсульфонатом натрия и 2,4-динитрофенолом в тех же условиях, при которых проводился гидролиз, так как этот обмен мог бы исказить наши результаты. Диоксан был выделен из водно-диоксановой смеси после гидролиза, продолжавшегося 40 часов при 80°, и после тщательного высушивания и перегонки над металлическим натрием не содержал избытка O^{18} . Раствор бензолсульфоната натрия нагревался с H_2O^{18} 4 дня на кипящей бане. Всушенная и перекристаллизованная из спирта соль также не содержала тяжелого кислорода. 2,4-динитрофенол по литературным данным (²⁹) при 140° обнаруживает кислородный обмен. В противоположность этому в условиях гидролиза (нагревание 40 ч. при 80° со смесью H_2O^{18} — диоксан) мы не обнаружили изотопного обмена. Эти проверочные опыты показали, что в условиях проведенных нами опытов нежелательные реакции изотопного обмена отсутствуют.

Львовский политехнический институт

Институт физической химии им. Л. В. Писаржевского
Академии наук СССР}

Поступило

15 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

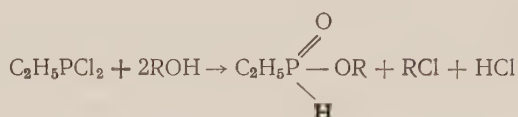
- ¹ M. Polanyi, A. L. Szabo, Trans. Faraday Soc., 30, 508 (1934).
- ² Д. Н. Курсанов, Р. В. Кудрявцев, ЖОХ, 26, 1040 (1956). ³ I. Roberts, H. Urey, J. Am. Chem. Soc., 60, 2391 (1938). ⁴ M. L. Bender, R. S. Dewey, J. Am. Chem. Soc., 78, 317 (1956). ⁵ I. B. Herbert, E. Blumenthal, Nature, 144, 248 (1939). ⁶ M. Anber, I. Dostrowsky et al., J. Chem. Soc., 1954, 3603. ⁷ V. Stimson, J. Chem. Soc., 1955, 2010, 2673. ⁸ H. Goering, T. Rubin, M. Newman, J. Am. Chem. Soc., 76, 787 (1954). ⁹ R. Dabby, A. Davies, J. Chem. Soc., 1953, 3619. ¹⁰ C. K. Ingold, J. Chem. Soc., 1932, 756. ¹¹ I. N. Day, C. K. Ingold, Trans. Faraday Soc., 37, 686 (1941). ¹² L. Hammett, Physical Organic Chemistry, N. Y., 1940, p. 350. ¹³ С. Н. Баранов, Р. В. Визгерт, ЖОХ, 27, 209 (1957). ¹⁴ I. Hawke, V. Stimson, J. Chem. Soc., 1956, 4676. ¹⁵ N. Ader, Thesis, London, 1949. ¹⁶ E. Tammila, M. Lindholm, Acta Chem. Scand., 4, 491 (1951). ¹⁷ Р. В. Визгерт, Е. К. Савчук, ЖОХ, 26, 2261 (1956). ¹⁸ J. Kochi, G. Hammond, J. Am. Chem. Soc., 75, 3445 (1953). ¹⁹ H. Brown, G. Ham, J. Am. Chem. Soc., 78, 2735 (1956). ²⁰ E. Tammila, J. Jutila, Acta Chem. Scand., 6, 975 (1955). ²¹ С. А. Bunton, Frei, J. Chem. Soc., 1951, 1872. ²² Р. В. Визгерт, Укр. хим. журн., 20, 272 (1954). ²³ Р. В. Визгерт, ЖОХ, 28, 1873 (1958). ²⁴ Р. В. Визгерт, Е. К. Савчук, ЖОХ, 26, 2268 (1956). ²⁵ Р. В. Визгерт, Е. К. Савчук, ЖОХ, 28, 2114 (1958). ²⁶ Р. В. Визгерт, Я. П. Беркман, ЖОХ, 28, 2119 (1958). ²⁷ И. П. Грагеров, Проблемы кинетики и катализа, Изотопы в катализе, М., 1957, стр. 373. ²⁸ А. И. Бродский, С. Т. Демиденко, Л. Л. Стрижак, В. Р. Лемхлеб, Журн. анал. химии, 10, 256 (1955). ²⁹ В. В. Фесенко, И. П. Грагеров, ДАН, 101, 695 (1955). ³⁰ С. А. Bunton, D. N. Spatsher, J. Chem. Soc., 1956, 1079. ³¹ M. L. Bender, J. Am. Chem. Soc., 73, 1626 (1951).

Академик М. И. КАБАЧНИК, Е. Н. ЦВЕТКОВ и ЧЖАН-ЖУН-ЮЙ

МЕТОД СИНТЕЗА КИСЛЫХ ЭФИРОВ ФОСФИНИСТЫХ КИСЛОТ

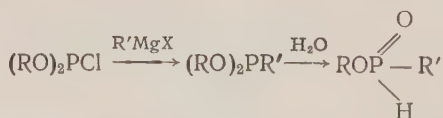
Кислые эфиры алкилфосфинистых кислот в противоположность аналогичным производным фосфористой кислоты изучены мало. Это в основном обусловлено отсутствием удобных общих методов синтеза алкилдихлорфосфинов, которые служат обычно исходными веществами для получения различных производных алкилфосфинистых кислот, в том числе и их кислых эфиров.

В 1952 г. Б. А. Арбузов и Н. И. Ризположенский⁽¹⁾ синтезировали ряд кислых эфиров этилфосфинистой кислоты взаимодействием соответствующих спиртов с этилдихлорфосфином, являющимся в настоящее время одним из наиболее доступных алкилдихлорфосфинов.

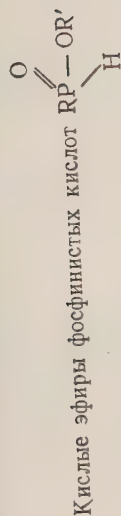


Были изучены физические свойства⁽²⁾ полученных веществ, реакции алкилирования⁽³⁾ и ацилирования⁽⁴⁾ их натриевых солей, а также реакции присоединения к различным непредельным соединениям⁽⁵⁻⁷⁾. Из ароматических производных получены лишь кислые эфиры фенилфосфинистой кислоты^(5, 8-10), применявшиеся для синтеза различных производных фенилалкилфосфиновых кислот^(5, 6, 8-11).

В настоящей работе описан общий метод синтеза кислых эфиров алкил- и арилфосфинистых кислот гидролизом соответствующих полных эфиров, которые легко получают по разработанному ранее способу из диалкилхлорфосфитов и магнийорганических соединений⁽¹²⁾. Процесс может быть осуществлен без выделения соответствующих полных эфиров фосфинистых кислот в чистом виде, а именно, действием воды на реакционную смесь, образующуюся в результате взаимодействия диалкилхлорфосфита с магнийорганическим производным



Раствор магнийорганического соединения (0,11 моля галоидного алкила или арила, 0,11 г-ат. магния в 50 мл эфира) прибавляют по каплям при энергичном перемешивании к 0,10 моля диалкилхлорфосфита в 50 мл эфира при температуре реакционной массы $-60 \pm 5^\circ$. Затем дают температуре повыситься до 20° , после чего при перемешивании вводят 50 мл 5% раствора хлористого аммония, и смесь оставляют стоять на ночь. Эфирный слой отделяют, водный извлекают хлороформом (3×50 мл), хлороформный экстракт и эфирный раствор фильтруют через слой безводного сульфата натрия, растворители удаляют в вакууме, остаток перегоняют. Все операции проводят в атмосфере очищенного азота. Выходы, константы и аналитические данные полученных соединений приведены в табл. 1.



№№	R	R'	Выход, %	Т-ра кип. °C/мм	n_D^{20}	d_4^{20}	MR		C, %		H, %		P, %	
							найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.
1	CH ₃	C ₄ H ₉	55,1	47—48/2	1,4321	0,9959	35,45	35,33	44,26	44,14	9,72	9,62	22,60	22,75
2	C ₂ H ₅	C ₄ H ₉	53	94—95/10	1,4350	0,9769	40,13	39,95	44,36 48,28	47,99	9,84 10,31	10,07	22,71 20,38	20,63
3	C ₃ H ₇	C ₄ H ₉	60	67—67,5/2	1,4347	0,9635	44,44	44,57	48,10 50,97	51,21	10,42 10,58	10,44	20,45 18,57	18,87
4	<i>i</i> -C ₃ H ₇	C ₄ H ₉	59,1	58,5—60,2/2,5	1,4321	0,9581	44,45	44,57	51,02 51,18	51,21	10,38 10,29	10,44	18,55 18,65	18,87
5	C ₄ H ₉	C ₂ H ₅	54,6	49—49,5/1,5	1,4350	0,9834	39,85	39,95	51,06 48,00	47,99	10,44 10,01	10,07	18,58 20,42	20,63
6	<i>i</i> -C ₄ H ₉	C ₂ H ₅	54	76—77/6	1,4310	0,9730	39,96	39,95	47,75 47,75	47,99	9,98 10,11	10,07	20,45 20,61	20,63
7	C ₆ H ₅	C ₄ H ₉	58,1	99,2—100/1	1,5144	1,0758	55,47	54,82	47,87 60,62	60,59	10,06 7,72	7,63	15,40 15,43	15,63
8	C ₆ H ₅ CH ₂	C ₄ H ₉	58,4	113—115,2/2	1,5160	1,0646	60,17	59,44	60,75 62,43	62,26	7,62 8,16	8,08	14,61 14,58	14,60

Литературные данные: № 2 — т. кип. 92—93°/9 мм; n_D^{20} 1,4314; d_4^{20} 0,9759 (1); № 7 — т. кип. 149°/3 мм; n_D^{29} 1,5045; d_4^{29} 1,0695 (8); т. кип. 120,5—92°/0,12 мм; n_D^{25} 1,5081 (10).

Монобутиловый эфир бензилфосфинистой кислоты действием натрия в толуоле был превращен в соответствующую соль и далее кипячением с хлористым бензилом в течение 3 часов — в бутиловый эфир дибензилфосфиновой кислоты; выход 67%, т. пл. 77,5—78° (из петролейного эфира).

Найдено %: С 71,58; 71,73; Н 7,59; 7,64; Р 10,35; 10,50
 $C_{18}H_{23}PO_2$. Вычислено %: С 71,50; Н 7,66; Р 10,24

Омылением бутилового эфира дибензилфосфиновой кислоты раствором едкого кали (10 час. кипения) получена дибензилфосфиновая кислота, т. пл. 191,5—192,3°. Смешанная проба с кислотой, синтезированной из диэтилфосфита и хлористого бензилмагния (¹³), т. пл. 191,5—192,3°. Литературные данные: т. пл. 189—189,8° (¹³), т. пл. 192° (¹⁴).

Аналогично из монобутилового эфира пропилфосфинистой кислоты получен бутиловый эфир дипропилфосфиновой кислоты; выход 58,7%, т. кип. 90,5—91,5°/2,5 мм; n_D^{20} 1,4419; d_4^{20} 0,9389. M_R найдено 58,13; M_R вычислено 58,12. Литературные данные: т. кип. 78—79°/1 мм; n_D^{20} 1,4389; d_4^{20} 0,9343 (¹⁵).

Найдено %: С 58,00; 57,96; Н 11,26; 11,12; Р 14,95; 15,02
 $C_{10}H_{13}PO_2$. Вычислено %: С 58,23; Н 11,24; Р 15,02

Для расчета молекулярных рефракций кислых эфиров алкилфосфинистых кислот применялось значение атомной рефракции фосфора 5,09, найденное из полученных нами экспериментальных данных и данных Б. А. Арбузова и Н. И. Ризположенского (¹).

Институт элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Б. А. Арбузов, Н. И. Ризположенский, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 956. ² Б. А. Арбузов, В. С. Виноградова, Изв. АН СССР, ОХН, 1954, 622. ³ Б. А. Арбузов, Н. И. Ризположенский, Изв. АН СССР, ОХН, 1955, 253. ⁴ Б. А. Арбузов, Н. И. Ризположенский, Изв. АН СССР, ОХН, 1954, 631. ⁵ А. Н. Пудовик, Д. Х. Ярмухаметова, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 902. ⁶ А. Н. Пудовик, Усп. хим., 23, 547 (1954); А. Н. Пудовик, Н. Г. Полознава, ЖОХ, 25, 778 (1955); А. Н. Пудовик, И. В. Коновалова, Р. Е. Кривоносова, ЖОХ, 26, 3110 (1956). ⁷ А. Н. Пудовик, Р. Д. Сабирова, Т. А. Тенер, ЖОХ, 24, 1026 (1954). ⁸ G. M. Kosolapoff, J. Am. Chem. Soc., 72, 4292 (1950). ⁹ М. И. Кабачник, Т. Я. Медведь, Изв. АН СССР, ОХН, 1954, 1024. ¹⁰ H. L. Jackson, Пат. США 2722538 (1955); Chem. Abstr., 50, 4218d (1956). ¹¹ В. С. Абрамов, М. И. Каширский, ЖОХ, 28, 3859 (1958). ¹² М. И. Кабачник, Е. Н. Цветков, ДАН, 117, 817 (1957). ¹³ R. C. Miller, J. S. Bradley, L. A. Hamilton, J. Am. Chem. Soc., 78, 5299 (1956). ¹⁴ E. A. Letts, R. F. Blake, J. Chem. Soc., 50, 776 (1890). ¹⁵ М. И. Кабачник, Т. А. Мاستрюкова, А. Э. Шипов, ЖОХ, 29, (1959), в печати.

М. М. КОТОН, Т. М. КИСЕЛЕВА и В. А. ПАΡΙБОК

СИНТЕЗ ПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ МЕТАКРИЛАТОВ ТРИАЛКИЛ(АРИЛ)ОЛОВА

(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 9 II 1959)

За последнее время в литературе отсутствовали сведения о получении метакрилатов алкильных и арильных производных олова. Лишь недавно описано получение диметакрилата диметилолова⁽¹⁾. Нами впервые получены полимеризующиеся метакрилаты триалкил(арил)производных олова: 1) метакрилат триметилолова¹ $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOSn}(\text{CH}_3)_3$; 2) метакрилат триэтилолова $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOSn}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$; 3) метакрилат три(*n*-бутил)-олова $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOSn}(\text{C}_4\text{H}_9)_3$ и 4) метакрилат трифенилолова $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOSn}(\text{C}_6\text{H}_5)_3$. Синтез метакрилатов триалкил(арил)олова осуществлялся взаимодействием соответствующих гидроокисей триалкил(арил)олова и метакриловой кислоты в растворе ацетона.

Вещества эти представляют собой белые кристаллические соединения, растворимые в органических растворителях. Они легко полимеризуются в блоке и в растворе, а также сополимеризуются с винильными мономерами с образованием прозрачных бесцветных пластических масс.

Интересно отметить, что удлинение алкильного радикала в оловосодержащих метакрилатах влияет на свойства получаемых полимеров. Так, если метакрилаты триметил(этил)олова представляют собой твердые полимеры, то метакрилат трибутилолова получается в виде прозрачного бесцветного эластичного геля.

Экспериментальная часть*

Синтез гидроокисей триалкил(арил)олова осуществлялся последовательным превращением тетраалкильных (арильных) соединений олова в хлориды и затем в гидроокиси обычными методами. Гидроокись триметилолова получена в виде бесцветных тонких игл⁽²⁾.

Найдено %: Sn 65,32,
 $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{OSn}$. Вычислено %: Sn 65,74

Гидроокись триэтилолова имела т. кип. 153—155° (20 м/м), т. пл. 45°⁽³⁾. Гидроокись три(*n*-бутил)олова имела т. кип. 186—190° (5 м/м)⁽⁴⁾. Гидроокись трифенилолова получена в виде блестящих пластинок, т. пл. 119°⁽⁵⁾.

Синтез метакрилатов триалкил(арил)олова проводился в колбе с обратным холодильником. Бралась молярные соотношения метакриловой кислоты и соответствующей гидроокиси триалкил(арил)олова в растворе ацетона. Реакционная смесь нагревалась 30—60 мин. на водяной бане. Ацетон удалялся отгонкой в вакууме. Остаток, представляющий собой метакрилат триалкил(арил)олова, тщательно очищался фракционированной перегонкой в вакууме и перекристаллизацией из гексана. Выход 60—80%.

* При участии В. А. Арбузова.

Метакрилат триметилолова — белые мелкие кристаллы, т. пл. 122°.
Метакрилат триэтилолова — белые игольчатые кристаллы, т. пл. 76—79°.

Найдено %: Sn 40,64
 $C_{10}H_{20}O_2Sn$. Вычислено %: Sn 40,89

Метакрилат три-(*n*-бутил)олова — белые игольчатые кристаллы, т. пл. 20—22°.

Найдено %: C 52,33; H 8,92; Sn 31,70
 $C_{16}H_{32}O_2Sn$. Вычислено %: C 51,20; H 8,53; Sn 11,73

Метакрилат трифенилолова — белые мелкие кристаллы, т. пл. 91—92°.

Найдено %: Sn 28,17
 $C_{22}H_{20}O_2Sn$. Вычислено %: Sn 27,35

При взаимодействии метакрилата трифенилолова со спиртовым HCl происходит образование метакриловой кислоты и хлористого трифенилолова с т. пл. 105° (найденно % Sn — 30,30, вычислено 30,86).

При взаимодействии метакрилата трифенилолова со спиртовым КОН происходит образование метакрилата калия и гидроокиси трифенилолова (т. пл. 118—119°). Метакрилаты триалкил(арил)олова полимеризуются как в отсутствие инициаторов, так и в присутствии перекисей и азосоединений.

Дальнейшее изучение свойств полимеров и сополимеров продолжается.

Институт высокомолекулярных соединений
Академии наук СССР

Поступило
26 I 1959

Политехнический институт им. М. И. Калинина

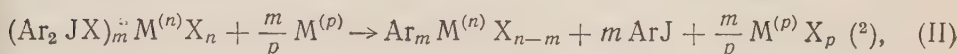
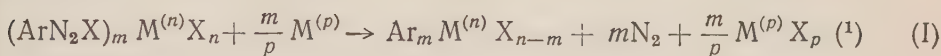
ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Saitow, E. Rochow, D. Seyferth, J. Org. Chem., **23**, 116 (1958).
² E. Kraus, R. Bullard, J. Am. Chem. Soc., **51**, 3606 (1929). ³ A. Cahours, Ann. Chem., **114**, 362 (1860). ⁴ W. Jones, W. Davies, J. Chem. Soc., **1947**, 1450.
⁵ К. А. Кочетков, Т. Надь, А. Александров, ЖОХ, **6**, 1672 (1936).

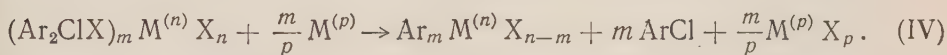
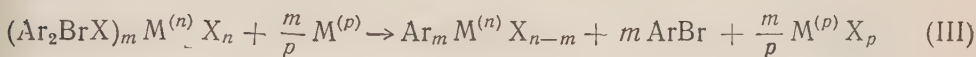
Академик А. Н. ЕСМЕЯНОВ, член-корреспондент АН СССР О. А. РЕУТОВ,
Т. П. ТОЛСТАЯ, О. А. ПТИЦЫНА, Л. С. ИСАЕВА, М. Ф. ТУРЧИНСКИЙ
и Г. П. БОЧКАРЕВА

МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ИЗ ДВОЙНЫХ СОЛЕЙ ГАЛОИДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ГАЛОГЕНИИ

Настоящая работа добавляет к двум глубоко аналогичным друг другу типам реакций синтеза металлоорганических соединений, выражаемых общими уравнениями:



еще два:

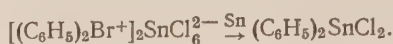
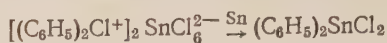


В методе двойных diazonийных солей ⁽¹⁾ в качестве металла $\text{M}^{(n)}$ может фигурировать Hg, Tl, Sn, Pb, As, Sb, Bi; в качестве металла $\text{M}^{(p)}$ для разных комбинаций — Cu, Zn, Fe, а также $\text{M}^{(p)} = \text{M}^{(n)}$. В методе двойных йодониевых солей ⁽²⁾ в качестве $\text{M}^{(n)}$ изучены Hg, Sn, Sb, Bi, которые дают хороший выход соответствующих металлоорганических соединений. В качестве $\text{M}^{(p)}$ применяется обычно тот же металл $\text{M}^{(n)}$ или иногда Zn, Cu. Реакции разложения порошками металлов двойных солей галогенидов дифенилбромония (соответственно хлорония) и галогенида металла мы проводили в растворе ацетона с применением порошков тех же металлов, что и в работах О. А. Реутова и О. А. Птицыной для дифенилйодониевых двойных солей. Течение и результат этих новых реакций оказались совершенно аналогичными таковым для дифенилйодониевых двойных солей — новое подтверждение близкой аналогии всех трех диарилгалогенидов.

При разложении двойных солей йодистого дифенилхлорония и йодистого дифенилбромония с HgJ_2 порошком меди в ацетоне на холоду образуется фенилмеркуриййодид с выходами в 22 и 35% соответственно:



При разложении двойных солей хлористого дифенилхлорония и хлористого дифенилбромония с SnCl_4 порошком олова образуется двуххлористое дифенилолово с выходами в 57 и 55% соответственно:

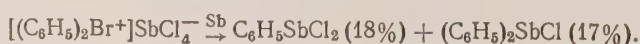
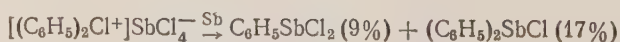


Т а б л и ц а 1¹

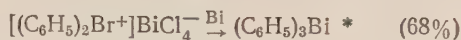
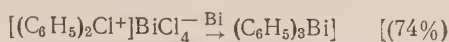
Формула соли	Т-ра разл., °C	Анализ					
		C, %		H, %		металл, %	
		найд.	вычисл.	найд.	вычисл.	найд.	вычисл.
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\} \text{HgJ}_3$	108—109 (*)						
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\} \text{HgJ}_3$	100—100,5 (*)						
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{HgJ}_3$	156—157 (*)						
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{CuJ}_3$ ²	207	37,99 38,15	38,29	2,65 2,74	2,67		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\} \text{TiCl}_4$	60—61 *	25,16 25,07	24,84	1,86 1,81	1,74		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\} \text{TiCl}_4$	79—80 *	27,05 27,25	26,90	2,03 2,06	1,89		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{TiCl}_4$	125—126	36,46 36,36	36,42	2,74 2,60	2,54		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{FeCl}_4$ ⁴	141—142	48,14 48,10	48,60	3,59 3,39	3,37	12,14 12,15	12,55 Γ
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\}_2 \text{SnCl}_6$	178—180	36,21 35,96	36,05	2,46 2,37	2,19		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\}_2 \text{SnCl}_6$	155—156	40,59	40,54	3,12	2,83		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\}_2 \text{SnCl}_6$	247—248	52,14 52,27	52,35	3,34 3,58	3,66	14,55 14,34	14,37
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\} \text{BiCl}_4$ ⁵	179—180	28,45	24,64	1,84	1,73		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\}_2 \text{BiCl}_5$		28,48	33,72	1,95	2,36		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\} \text{BiCl}_4$ ⁵	140—141	36,86	26,66	2,73	1,87		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\}_2 \text{BiCl}_5$		36,82	37,64	2,67	2,63		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{BiCl}_4$ ⁵	225—226	44,20	36,15	3,04	2,52		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\}_2 \text{BiCl}_5$		44,17	49,10	2,96	3,43		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\} \text{SbCl}_4$ ⁵	130—131	30,02	28,95	2,20	2,02		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Br}\}_2 \text{SbCl}_5$		29,98	37,56	2,14	2,63		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\} \text{SbCl}_4$ ⁵	120—121	33,11	31,78	2,33	2,23		
$\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}\}_2 \text{SbCl}_5$		33,20	42,48	2,49	2,97		

¹ Все приведенные в таблице соли, кроме $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{CuJ}_3$ и $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{FeCl}_4$, получались сливанием водных растворов борофторидов дифенилбромония, дифенилхлорония и трифенилоксония с растворами галогенидов тяжелых металлов в соответствующих галоидоводородных кислотах. ² Получена при разложении $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{HgJ}_3$ металлической медью. ³ При этой температуре соль плавится, но не разлагается. ⁴ Получена при разложении $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}\} \text{TiCl}_4$ металлическим железом. ⁵ Судя по результатам анализа, соль представляет собой смесь соединений: $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \text{Hal}^+\} \text{MeCl}_4^-$ и $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_2 \text{Hal}^+\}_2 \text{MeCl}_5^{2-}$. ⁶ Судя по данным анализа, соль имеет состав, средний между $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}^+\} \text{BiCl}_4^-$ и $\{(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{O}^+\}_2 \text{BiCl}_5^{2-}$.

Разложение соответствующих двойных солей треххлористой сурьмы порошком сурьмы приводит к смеси фенилдихлорстибина, дифенилхлорстибина и небольшого количества триарильных сурьяноорганических соединений:



При разложении двойных солей треххлористого висмута порошком висмута образуется трифенилвисмут:



Судя по результатам анализа, двойные соли треххлористой сурьмы и треххлористого висмута представляют собой смеси соединений $[(C_6H_5)_2Hal^+][MeCl_4^-]$ и $[(C_6H_5)_2Hal^+]_2MeCl^{--}_5$.

Таблица 2

Реакции разложения двойных солей галогенидов дифенилбромония, дифенилхлорония и трифениллоксония с галогенидами тяжелых металлов

Исходная соль, г	Металл, г	Растворитель, мл	Условия реакции	Продукт реакции		
				формула	т-ра пл., °С	выход в г в %
$[(C_6H_5)_2Br]HgJ_3$ 3,3	Медь 1	Ацетон сух. 90	Встрях. при 20° 4 ч.	C_6H_5HgJ ¹	270 (?)	0,63 38,5
$[(C_6H_5)_2Cl]HgJ_3$ 3,8	1	100	То же 7 ч.	То же	270	0,39 22
$[(C_6H_5)_2O]HgJ_3$ 1,0	0,3	3	То же 18 ч.	$[(C_6H_5)_2O]J$ $[(C_6H_5)_2O]CuJ_3$	177 (*) 207	0,07 16 0,37 55
$[(C_6H_5)_2O]TiCl_4$ ² 1,3	Железо (порошок) 0,3	3	То же 19 ч.	$[(C_6H_5)_2O]Cl$ $[(C_6H_5)_2O]FeCl_4$	192 (*) 142	0,11 53 0,46 71
$[(C_6H_5)_2Br]_2SnCl_4$ 1,4	Олово (порошок) 0,6	3 *	То же 2 ч.	$(C_6H_5)_2SnO$ ⁴	—	0,28 55
$[(C_6H_5)_2Cl]_2SnCl_4$ 1,0	0,4	4	То же 4 ч.	То же	—	0,23 57
$[(C_6H_5)_2O]_2SnCl_4$ 1,0	Олово свежее-восстан. 0,17	2,5	То же 21 ч.	Полностью вернулась исходная соль с т. разл. 246—247°		
$[(C_6H_5)_2Br]BiCl_4$ ³ 3,0	Висмут (свеже-приготовл.) 3,0	15	То же 26 ч.	$(C_6H_5)_3Bi$ ⁵	76—77(*)	0,51 61 ⁷
$[(C_6H_5)_2Cl]_2BiCl_5$ ³ 1,7	1,5	10	То же 23 ч.	То же	77—78	0,34 52
$[(C_6H_5)_2O]BiCl_4$ ³ 1,1	1,3	6	То же 23 ч.	Вернулось 0,4 г исходной соли с т. разл. 226—227° ⁸		
То же 2,5	2,0	30	Кипяч. 15 ч.	Вернулась исходная соль в количестве 1 г ⁸		
$[(C_6H_5)_2Br]SbCl_4$ ³ 8,0	Сурьма (свеже-полученная) 4,5	40	Встряхив. при 20° 18 час.	C_6H_5SbO $[(C_6H_5)_2Sb]_2O$ ⁹	0,64 0,56	18,5 ¹⁰ 24 ¹⁰
$[(C_6H_5)_2Cl]SbCl_4$ ³ 5,0	3,5	30	То же 25 ч.	C_6H_5SbO $[(C_6H_5)_2Sb]_2O$ ⁹	0,21 0,27	9 ¹⁰ 17 ¹⁰

¹ После симметризации стannитом натрия получена дифенилртуть с т. пл. 124—125° (125° ⁽⁹⁾). ² При взаимодействии $[(C_6H_5)_2Br]TiCl_4$ и $[(C_6H_5)_2Cl]TiCl_4$ с порошкообразным железом соли разложились полностью, однако таллийорганические соединения при этом не были найдены. ³ Для начала реакции необходимо добавить одну каплю концентрированной соляной кислоты. Без добавления кислоты реакция не идет. ⁴ Идентифицирован в виде $(C_6H_5)_2SnBr_2$ с т. пл. 38° (38°) ⁽¹⁰⁾. ⁵ Относительно состава соли см. табл. 1. ⁶ Выделен после симметризации продуктов реакции действием водного раствора аммиака. ⁷ Выход указан, считая на 50% смесь $(C_6H_5)_2Br[BiCl_4]$ и $[(C_6H_5)_2Br]_2BiCl_5$. ⁸ Висмуторганических соединений обнаружено не было. ⁹ Идентифицирован в виде дифенилстибинацетата с т. пл. 130,5—131° (131—132°) ⁽¹¹⁾. ¹⁰ Выход указан, считая на $[(C_6H_5)_2Hal]SbCl_4$, где Hal=Br или Cl.

Двойные соли трифениллоксония $(C_6H_5)_3\overset{+}{O}MeCl_{n+1}^-$ (где Me = Hg, Tl, Sn, Bi) в наших условиях с порошками металлов (Cu, Fe, Sn, Bi) либо не реагируют, либо реагируют только с изменением анионной части двой-

* Отметим для сравнения, что с помощью двойных солей дифенилйодония ртутно-органические соединения получаются с выходами ~80%, оловоорганические 70—80%, сурьмяноорганические 50—60%, висмуторганические 70—80%. Однако следует отметить, что для случая йодониевых солей метод специально отработывался, а для хлорониевых и бромониевых солей даны результаты первых опытов, и весьма вероятно, что выходы можно довести до величин того же порядка.

ной соли. Так например, при реакции $[(C_6H_5)_3\overset{+}{O}]TiCl_4^-$ с порошком железа образуется $(C_6H_5)_3\overset{+}{O}FeCl_4^-$. Катион трифенилоксония не изменяется и металлоорганические соединения не образуются.

Одно из возможных объяснений иному поведению трифенилоксониевых солей в реакции синтеза металлоорганических соединений, сравнительно с солями фенилдиазония и дифенилгалогенониев, дано в недавних наших работах по разложению борофторидов диазониев и галогенониев порошками металлов ⁽³⁾.

Таким образом, метод синтеза металлоорганических соединений посредством двойных диазониевых солей обобщается в метод синтеза металлоорганических соединений посредством двойных оксониевых солей.

Ограничением метода является неприменимость для данной цели оксониевых и (ожидаемая по аналогии) неприменимость аммониевых солей. Причина этого ограничения та, что ни кислород, ни азот этих солей не способны образовать новую, соответственно четвертую или пятую, ковалентную связь.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Институт элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
7 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Несмеянов, ЖРХО, **61**, 1393 (1929); Ber., **62**, 1010 (1929); А. Н. Несмеянов, Э. И. Кан, ЖРХО, **61**, 1407 (1929); Ber., **62**, 1018 (1929); А. Н. Несмеянов, Л. Г. Макарова, ЖОХ, **1**, 538 (1931); А. Н. Несмеянов, Н. Ф. Глущенков, П. Ф. Епифанский, А. И. Флегонтов, ЖОХ, **4**, 713 (1934); Ber., **67**, 130 (1934); А. Н. Несмеянов, Уч. зап. МГУ, **3**, 291 (1934); А. Н. Несмеянов, Е. М. Торопова, ЖОХ, **4**, 664 (1934); А. Н. Несмеянов, Л. Г. Макарова, ДАН, **87**, 417 (1952); А. Н. Несмеянов, К. А. Кочешков, В. А. Климова, ЖОХ, **6**, 167 (1936); Ber., **68**, 1877 (1935); К. А. Кочешков, А. Н. Несмеянов, Н. К. Гипп, ЖОХ, **6**, 172 (1936); А. Н. Несмеянов, К. А. Кочешков, Изв. АН СССР, ОХН, **1944**, 416; А. Н. Несмеянов, Н. К. Гипп, Л. Г. Макарова, Изв. АН СССР, ОХН, **1953**, 298; О. А. Реутов, О. А. Птицына, ДАН, **79**, 819 (1951). ² О. А. Птицына, О. А. Реутов, М. Ф. Турчинский, ДАН, **114**, 110 (1957); О. А. Реутов, О. А. Птицына, Ху Хун-вэн, ДАН, **122**, 825 (1958); О. А. Реутов, О. А. Птицына, Н. Б. Стяжкина, ДАН, **122**, 1032 (1958); О. А. Reutow, O. A. Ptizina, G. Ertel, Chemische Technik, **10**, № 4, 201 (1958); О. А. Птицына, О. А. Реутов, М. Ф. Турчинский, Научн. докл. высш. школы, хим. и хим. технол., № 1, 418 (1959). ³ А. Н. Несмеянов, Л. Г. Макарова, Т. П. Толстая, Tetrahedron, **13**, 145 (1957); А. Н. Несмеянов, Т. П. Толстая, Л. С. Исаева, ДАН, **125**, 2 (1959). ⁴ А. Н. Несмеянов, Т. П. Толстая, Л. С. Исаева, ДАН, **104**, 872 (1955). ⁵ А. Н. Несмеянов, Т. П. Толстая, ДАН, **105**, 95 (1955). ⁶ А. Н. Несмеянов, Т. П. Толстая, ДАН, **117**, 626 (1957). ⁷ А. Н. Несмеянов, ЖРХО, **61**, 1397 (1929). ⁸ P. Pfeiffer, H. Pietsch, Ber., **37**, 4622 (1904). ⁹ F. L. Maynard, J. Am. Chem. Soc., **46**, 1511 (1924). ¹⁰ R. Chamberlain, Ph. Scherer, J. Am. Chem. Soc., **48**, 1055 (1926). ¹¹ H. Schmidt, Lieb. Ann., **429**, 140 (1922).

Е. С. ПОКРОВСКАЯ и М. В. ШИШКИНА

О НЕКОТОРЫХ АЛКИЛЦИКЛОПЕНТИЛБЕНЗОЛАХ

(Представлено академиком А. В. Топчиевым 6 I 1959)

Сложные полиалкилбензолы, содержащие наряду с алкильными радикалами циклоалкильные, можно получить, как это было показано в ряде работ, путем алкилирования метил- и полиметил-бензолов циклопентеном или циклогексеном в присутствии безводного хлористого алюминия (^{1, 2, 3}). В настоящей работе описан синтез диметилизопропилбензола, исходя из *n*-ксилола и пропилена в присутствии хлористого алюминия и далее алкилирование циклопентеном полученного триалкилбензола - изопропил-*n*-ксилола. Поскольку в присутствии хлористого алюминия возможна изомеризация, положение боковых цепей определялось по спектрам поглощения в ультрафиолетовой области. Константы изопропил-*n*-ксилола совпадают с константами, приведенными Коимэн и Стрэнг, которые получили этот углеводород путем алкилирования *n*-ксилола диизопропиловым эфиром в присутствии серной кислоты при температуре 80°. Строение углеводорода было определено по спектрам поглощения в инфракрасной области (⁴).

Исходным продуктом для получения нами указанных углеводородов служил *n*-ксилол, который после разгонки на колонке точной ректификации в 40 теоретических тарелок имел т. кип. 137,5—137,6°, $n_D^{20} = 1,4956$, $d_4^{20} = 0,8608$ и т. заст. 12,5°, что соответствует литературным данным (⁵).

Конденсация *n*-ксилола с пропиленом производилась при молярном соотношении *n*-ксилол : пропилен 1 : 0,6.

В результате разгонки при атмосферном давлении и последующей фракционировки на колонке типа Фенске в 12 т. т. было выделено вещество с т. кип. 75° при 11 мм рт. ст., 195,0—195,5° при 753 мм рт. ст., не застывающее при -70°, с $n_D^{20} = 1,5012$, $d_4^{20} = 0,8742$.

Величины показателя преломления и плотности полностью совпадают с данными для 1,4-диметил-2-изопропилбензола, полученного вышеупомянутыми авторами, которые нашли $n_D^{20} = 1,5012$ и $d_4^{20} = 0,8741$ (⁴). Полученный углеводород (равно как и все последующие) был исследован по спектру поглощения в ближней ультрафиолетовой области в растворе изоктана на фотоэлектрическом спектрофотометре.

В спектре изопропил-*n*-ксилола (рис. 1, I) наблюдаются максимумы 2755 и 2670 Å. Спектр псевдокумола (⁶) приведен для сравнения. Близкие значения длин волн максимумов поглощения и их интенсивностей в спектрах изопропил-*n*-ксилола и псевдокумола, а также общий характер поглощения указывает на то, что изопропил-*n*-ксилол имеет положение боковых цепей 1, 2, 4.

При конденсации *n*-ксилола с пропиленом, взятых в эквимольных соотношениях, был получен вышеописанный 1,4-диметил-2-изопропилбензол и некоторое количество фракции с т. кип. 225—235° и $n_D^{20} = 1,5055$, застывшей в твердую массу. Кристаллы, полученные после перекристаллизации из спирта, имели т. пл. 36—37° и состав C₁₄H₂₂ (анализ).

Коимэн и Стрэнг ⁽⁴⁾ приводят для 1,4-диметил-2,5-диизопропилбензола т. плав. 37,2°.

При исследовании полученного препарата по спектру поглощения в ультрафиолетовой области было установлено большое сходство характера поглощения диизопропил-*n*-ксилола и дурола (рис. 1, II). Практически полное совпадение длин волн максимумов поглощения диизопропил-*n*-ксилола (2778, 2688 Å) с максимумами дурола и близкие значения их интенсивностей указывают на то, что диизопропил-*n*-ксилол имеет строение 1,4-диметил-2,5-диизопропилбензола. Следует заметить, что измеренный спектр диизопропил-*n*-ксилола хорошо совпадает по длинам волн и интенсивностям двух основных максимумов со спектром этого же вещества в работе ⁽⁴⁾.

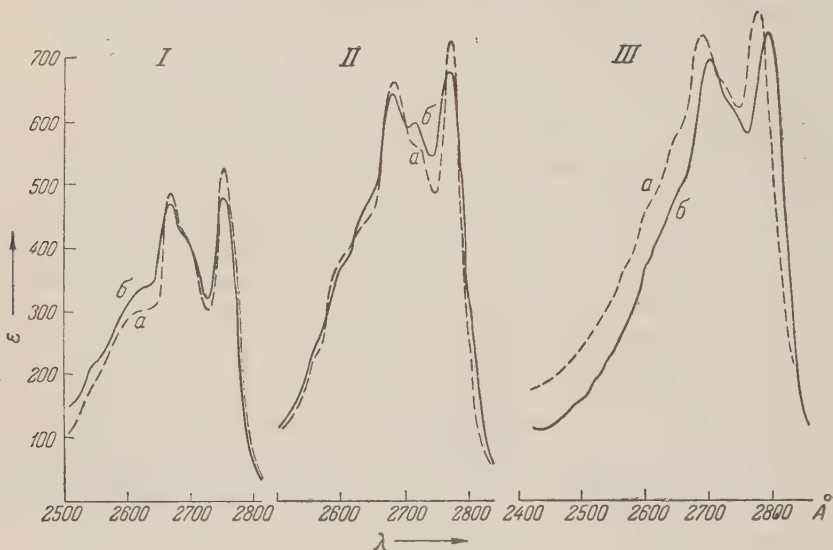


Рис. 1. Спектры поглощения: I — изопропил-пара-ксилола (а) и псевдокумола (1, 2, 4-триметил-бензол) (б), II — диизопропил-пара-ксилола (а) и дурола (1, 2, 4, 5-тетраметилбензол) (б), III — циклопентил-изопропил-пара-ксилола (а) и дициклопентил-пара-ксилола (б)

Описанный выше 1,4-диметил-2-изопропилбензол был введен в реакцию конденсации с циклопентеном в присутствии хлористого алюминия при соотношении изопропил-*n*-ксилол : циклопентен 2 : 1, исходя из 50 г изопропил-*n*-ксилола, и дважды при соотношении изопропил-*n*-ксилол : циклопентен 1 : 1, исходя из общего количества циклопентена 50 г. Реакция проходила при слабом разогревании. Циклопентен вступал в реакцию не полностью. Было получено 70 г продуктов реакции, кипевших выше 250°. В результате разгонки при атмосферном давлении и в вакууме на вышеуказанной колонке была выделена фракция с т. кип. 122—123° при 3,5 мм рт. ст. (~ 287° при атмосферном давлении) и $n_D^{20} = 1,5282$, которая быстро застывала в кристаллическую массу. При перекристаллизации из спирта были получены мелкие иголочки с т. пл. 29,5—30,5°. Для этого вещества был установлен состав $C_{16}H_{24}$ (анализ). Продукт, кипевший выше 300°, был разогнан в вакууме над металлическим натрием, причем была выделена фракция кристаллического вещества, кипевшая при 182—185° (10 мм рт. ст.); после нескольких перекристаллизаций из спирта было получено белое мелкокристаллическое вещество, которое имело т. пл. 80°.

Спектр поглощения в ультрафиолетовой области первого из описанных углеводородов приведен на рис. 1. Общий характер спектра и интенсивность поглощения соответствует спектру дурола. Некоторый сдвиг (~ на 10 Å) максимумов поглощения 2785 и 2695 Å циклопентилизопропил-*n*-ксилола в сторону больших длин волн относительно соответствующих максимумов

дурола вызван введением циклопентанового кольца в бензольное ядро. Аналогичные смещения в спектрах поглощения наблюдались для ряда нафто-ароматических соединений, описанных ранее (6-8).

Однотипность полос поглощения циклопентил-*n*-ксилола и дуrolа указывает, что полученный углеводород имеет строение 1,4-диметил-2-изопропил-5-циклопентилбензола.

Углеводород с т. пл. 80° должен был соответствовать пентазамещенному бензолу с двумя метильными, двумя циклопентильными и одной изопропильной группой.

Спектр поглощения этого вещества, однако, имел характер, близкий характеру спектров дуrolа, диизопропил-*n*-ксилола и циклопентилизопропил-*n*-ксилола, т. е. соединений, имеющих четыре заместителя в бензольном кольце в положении 1, 2, 4, 5 (рис. 1). Сдвиг полосы поглощения этого вещества в сторону больших длин волн обусловлен присутствием двух пятичленных колец в молекуле. Если бы вещество представляло собой пентазамещенный бензол, оно должно было бы дать вдвое меньшую интенсивность полосы поглощения, а интенсивность максимума 2800 Å должна была бы быть ниже интенсивности максимума 2710 Å (8). Оказалось, что спектр поглощения этого вещества полностью совпадает со спектром дициклопентил-*n*-ксилола (7). Для этого вещества установлен состав C₁₈H₂₆ (анализ).

Смешанная проба углеводорода с т. пл. 80° с ранее полученным циклопентил-*n*-ксилолом, имеющим т. пл. 81° (2), депрессии не дала.

Совершенно очевидно, что указанный углеводород представляет собой дициклопентил-*n*-ксилол. Образование его при взаимодействии 1,4-диметил-2-изопропилбензола с циклопентеном в вышеуказанных условиях происходит с отщеплением изопропильной группы и вступлением на ее место циклопентильного радикала.

Это обстоятельство подтверждает общее положение о больших затруднениях, которые представляет получение пентазамещенных бензолов, содержащих относительно тяжелые боковые цепи.

Институт нефтехимического синтеза
Академии наук СССР

Поступило
25 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. Boudoux, Ann. Chim., 11, 10, 511 (1928). ² Е. С. Покровская, Уч. зап. МГУ, 71, химия, 119 (1941). ³ Е. С. Покровская, ДАН, 39, № 1, 26 (1943). ⁴ Е. С. Кооуман, A. Strang, Recueil trav. chim., 72, № 4, 329 (1953). ⁵ G. Egloff, Physical Constants of Hydrocarbons, 3, 1947, p. 75. ⁶ Г. Д. Гальперн, М. М. Кусаков, Е. С. Покровская, Б. А. Смирнов, Н. А. Шиманко, М. В. Шишкина, Физ. сборн. Львовск. гос. унив., в. 3, ч. 1, Молекулярная спектроскопия, Львов, 1957, стр. 334. ⁷ Г. Д. Гальперн, М. М. Кусаков, Е. С. Покровская, Н. А. Шиманко, Тр. Инст. нефти АН СССР, 12, 38 (1958). ⁸ Е. С. Покровская, Н. А. Шиманко, ДАН, 123, 109 (1958).

Е. А. ТИМОФЕЕВА, член-корреспондент АН СССР Н. И. ШУЙКИН,
Ю. Н. ПЛОТНИКОВ и В. М. КЛЕЙМЕНОВА

ДЕГИДРОГЕНИЗАЦИЯ *n*-ГЕКСАНА НА АЛЮМОХРОМОВОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

Первые работы по дегидрированию *n*-гексана были проведены в присутствии металлических катализаторов. Тауш и Путноки ⁽¹⁾ еще в 1919 году указали на принципиальную возможность протекания этой реакции под влиянием палладиевой черни в условиях дегидрогенизационного катализа по Зелинскому. Авторами было найдено, что из *n*-гексана, так же как из

Таблица 1

Ароматизация и дегидрогенизация *n*-гексана по литературным данным

Температура, °С	Скорость пропускания гексана	Состав катализата, %		Отношение выходов непредельных и бензола	Ссылка на литературу
		непредельные углеводороды	бензол		
470	0,1 мл/мин	10	17	0,60	(4)
465	0,22 г/г катализатора в час	16	19,5	0,82	(5)
490	0,5 час ⁻¹	~18	~22	0,82	(6)

изопентана, *n*-гептана и *n*-октана, в присутствии этого катализатора в первые 1—2 часа его работы образуются в незначительных количествах непредельные углеводороды. Введенский и Иванников ⁽²⁾, изучая химические равновесия реакций между углеводородами, определили константы равновесия реакции дегидрогенизации *n*-гексана при 382, 414 и 448°. В качестве катализатора они применяли палладированный асбест. Однако в статье не

имеется конкретных данных об условиях проведения реакции, о выходах гексенов, а также о том, образуются ли в исследованных условиях ароматические углеводороды или нет.

Работ, посвященных изучению реакции дегидрогенизации *n*-гексана на окисных катализаторах, не имеется. Тем не менее известно, что из *n*-алканов состава C₆ и выше в присутствии этих катализаторов наряду с ароматическими образуется всегда некоторое количество непредельных углеводородов ⁽³⁾. Ароматизацию *n*-гексана на окиси хрома изучали Молдавский с сотрудниками ⁽⁴⁾ и Хуг, Ферхеус и Зюйдерверг ⁽⁵⁾. Недавно исследованием этой реакции занимались также Усов и Сидорова ⁽⁶⁾. В табл. 1 приведены литературные данные по дегидрогенизации *n*-гексана в условиях его ароматизации в присутствии окиси хрома. Как видно из результатов цитированных работ авторы, получали катализаты, содержащие значительно меньшие количества непредельных углеводородов, чем ароматических.

За последние два года мы провели работы по каталитическому дегидрированию изоалканов и *n*-алканов, в том числе и *n*-гексана. В результате мы пришли к выводу, что путем изменения способов приготовления алюмохромовых катализаторов, введения добавок к ним окисей щелочных металлов и, наконец, путем варьирования условий проведения реакции можно значительно изменять соотношение выходов непредельных и ароматических углеводородов из *n*-гексана, а именно от 0,14 до 2,11. При этом следует от

метить, что выходы непредельных углеводородов колеблются в гораздо меньшем интервале (от 2 до 20%), чем выходы бензола (от следов до 60%). Из всех исследованных катализаторов лучшим с точки зрения получения максимальных выходов непредельных углеводородов и минимальных выходов бензола оказался алюмохромовый без щелочных добавок, приготовленный пропитыванием продажной окиси алюминия раствором бихромата аммония. В присутствии этого катализатора при 500° и объемной скорости 0,5 час⁻¹ из *n*-гексана получены непредельные углеводороды с выходом 20%, при этом выход бензола не превышал 14%.

В настоящей работе мы поставили перед собою задачу изменением условий проведения дегидрогенизации *n*-гексана на алюмохромовом катализаторе еще в большей мере подавить реакцию ароматизации, при этом не снижая значительно выходов гексенов. Для этого в первую очередь исследовалось влияние температуры и объемной скорости на протекание реакции дегидрогенизации *n*-гексана (т. кип. 68,7° при 760 мм, n_D^{20} 1,3750; d_4^{20} 0,6590). Последний вводился в контакт с алюмохромовым катализатором (Al₂O₃+Cr₂O₃ 94,2 : 5,8 мол. %), который помещался в кварцевую трубку диаметром 18 мм. Количество катализатора составляло 30 мл (23 г) длиной слоя 17 см. Система

проточная. Давление атмосферное. В каждый опыт мы брали 200 мл *n*-гексана. Анализу подвергался катализат, соответствующий как этому количеству, так и половине пропущенного гексана. Кроме того, проводился анализ отдельных порций катализата, которые соответствовали 10 мл пропущенного гексана. Определялись n_D^{20} и содержание непредельных и ароматических углеводородов методами, описанными нами ранее (7). Соединенные катализаты *n*-гексана, полученные в разных условиях, анализировались также методом газожидкостной хроматографии (8). Применялась колонка, заполненная кизельгуром, смоченным трикрезилфосфатом. Рабочая температура 20 и 56°. Оказалось, что образующиеся алкены состоят из гексенов, а ароматические углеводороды из бензола. В парафиновой части катализатов обнаружен неизменный *n*-гексан, следы *n*-пентана и изогексанов.

Полученные данные представлены в табл. 2 и на рис. 1. Газ, образующийся в превращениях *n*-гексана при 475 и 500°, содержал от 90,6 до 95,3% водорода, до 1,8% непредельных углеводородов и от 2,7 до 7,5% алканов. В газе, полученном при 550°, содержалось 89,0% водорода, 8,3% непредельных и 2,7% предельных углеводородов. Как видно из данных табл. 2 и рис. 1, повышение температуры реакции от 475 до 550° приводит лишь к незначительному возрастанию выходов гексенов, всего ~ на 2%. Однако при этом выходы бензола возрастают от следов до 9–13%. Оказалось, что чем ниже температура, тем меньший угол наклона имеют кривые дегидрогенизации, т. е. тем в меньшей степени снижается активность катализатора со временем. По нашему мнению, заслуживают серьезного внимания результаты, полученные в опытах, проведенных при 500° с объемной скоростью 1,5 и 2,1 час⁻¹ и, особенно, при 475°. В первом случае гексенов получается

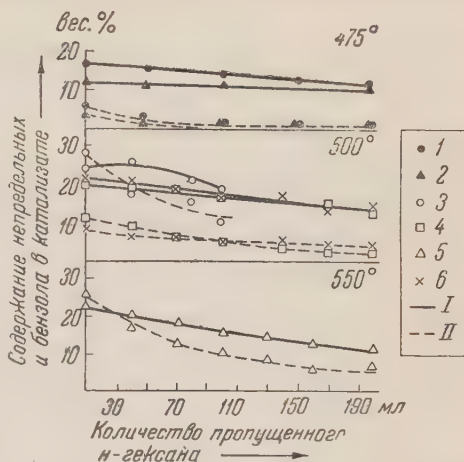


Рис. 1. Содержание непредельных (I) и бензола (II) в катализатах *n*-гексана в зависимости от количества пропущенного *n*-гексана: 1, 2 — при 475°, 3, 4, 5 — при 500°, 6 — при 550°. Объемная скорость: 1 — 1,5 час⁻¹, 2 — 2,1 час⁻¹, 3 — 0,5 час⁻¹, 4 — 1,5 час⁻¹, 5 — 2,1 час⁻¹, 6 — 2,1 час⁻¹.

в 2—3 раза больше, чем бензола. Во втором, при 475° и объемной скорости 2,1 час⁻¹, бензол образуется в количестве всего ~3% лишь в начальный период опыта, после чего содержание его в катализаторах не достигает и 1%, т. е. пределов точности определения; при этом хотя выход гексенов и снижается со временем, однако это падение совершается очень медленно. Так, в первой порции катализата, соответствующей 10 мл пропущенного

Таблица 2

Свойства катализаторов *n*-гексана, полученных на алюмохромовом катализаторе

Темп. °C	Объемн. скорость, час ⁻¹	Количество пропущенного гексана, мл	Выход жидкого катализата, %	Количество газа, л (нгд)	n_D^{20} катализата	Содержание гексенов, %		Содержание бензола, %	
						в катализате	на пропущен. <i>n</i> -гексан	в катализате	на пропущен. <i>n</i> -гексан
475	1,5	100	93,5	7,100	1,3820	13,7	12,8	3,7	3,5
		200	94,0	12,700	1,3815	12,2	11,5	3,6	3,4
	2,1	100	94,2	5,500	1,3800	12,9	12,2	2,0	1,9
		200	94,5	9,500	1,3800	12,1	11,4	1,0	0,9
		700	96,5	25,300	1,3790	10,2	9,8	< 1,0	следы
	0,5	100	86,5	18,200	1,3950	20,6	17,8	12,8	11,1
500	1,5	100	92,5	11,100	1,3880	19,4	17,9	6,9	6,4
		200	93,0	18,400	1,3860	17,0	15,8	5,1	4,7
	2,1	100	92,5	10,000	1,3860	17,6	16,3	8,0	7,4
		200	93,0	17,600	1,3835	15,9	14,9	6,9	6,5
	550	100	82,9	17,200	1,3920	18,9	15,7	16,0	13,3
		200	86,0	29,850	1,3875	15,3	13,1	10,0	8,6

n-гексана, содержалось 11% гексенов, а в последней, после пропускания 700 мл *n*-гексана, 8%. Таким образом, в данных условиях реакция дегидроциклизации *n*-гексана практически не идет, тогда как гексены образуются в довольно заметных количествах. Содержание гексенов в соединенном катализате достигало 10%, что в пересчете на разложенный *n*-гексан составляет 74%.

Полученный результат имеет принципиально важное значение, так как нам впервые удалось почти полностью подавить реакцию ароматизации *n*-алкана, способного к непосредственной дегидроциклизации в присутствии алюмохромового катализатора; при этом в принятых условиях реакция дегидрогенизации *n*-гексана протекает в заметной степени.

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
30 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. Tausz, N. Putnoky, Ber., 52, 1573 (1919). ² А. А. Введенский и П. Я. Иванников, ЖОХ, 4, 975 (1934). ³ А. Ф. Платэ, Каталитическая ароматизация парафиновых углеводородов, Изд. АН СССР, 1948. ⁴ Б. Л. Молдавский, Г. Д. Камушер, ДАН, № 9, 343 (1936); Б. Л. Молдавский, Г. Д. Камушер, М. В. Кобыльская, ЖОХ, 7, 169 (1937). ⁵ H. Hoogstraal, J. Verheus, E. J. Zuiderweg, Trans. Farad. Soc., 35, № 8, 993 (1939). ⁶ Ю. Н. Усов, Н. В. Сидорова, ЖОХ, 25, 1702 (1955). ⁷ Н. И. Шуйкин, Е. А. Тимофеева, Т. П. Добрынина, Ю. Н. Плотиных, Г. С. Петряева, В. М. Клейменова, Изв. АН СССР, ОХН, 1958, 7, 896. ⁸ И. Н. Назаров, Л. Н. Иванова, Б. А. Руденко, ДАН, 122, № 2, 242 (1958).

Академик А. В. ТОПЧИЕВ, Н. Э. ЦЫТОВИЧ и Е. С. ПОКРОВСКАЯ

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА АЛКИЛИНДАНОВ С ЗАМЕСТИТЕЛЕМ В ПЯТИЧЛЕННОМ КОЛЬЦЕ

Синтезу углеводов ряда индана в последнее время посвящено несколько исследований (¹⁻⁵). В работах (³⁻⁵) описаны гомологи индана с одной и двумя боковыми цепями в пятичленном кольце, полученные путем замыкания пятичленного кольца, исходя из фенил-пропионовой кислоты, β-алкилфенилпропионовых кислот и бензил-алкилмалоновых эфиров. Эти реакции сложны и проходят через несколько стадий.

В настоящей работе описано получение алкилинданов с заместителем в пятичленном кольце более простым способом — путем взаимодействия индана с кетонами по методу Тиле, который в своей работе по взаимодействию цикlopentadiена и индана с кетонами описал получение ряда непредельных углеводов (⁶).

Мусаев (⁷) использовал реакцию, описанную Тиле, для синтеза амил-индана. Ружичка и Пейер (⁸) применили видоизмененный метод Тиле для синтеза α-изооктилгидриндена.

Наши попытки провести конденсацию индана с метилэтилкетонам по методу Тиле привели к получению очень незначительного выхода дву непредельного углеводорода (около 7%). Изменение условий реакции дало возможность получить бутилиденинден с выходом 38% теории. Реакция проводилась с инденом в эфирном растворе, к которому быстро прибавлялся горячий этилат натрия и при непрерывном перемешивании и подогревании на водяной бане добавлялось, по каплям, эквимолекулярное количество метил-этилкетона. После прибавления кетона смесь перемешивалась 3—4 часа. Продукт реакции подвергался обработке 10% соляной кислотой. Углеводород отделялся, а остаток извлекался эфиром. В результате повторных фракционировок в вакууме был выделен углеводород желтого цвета с темп. кипения 122—122,5° при 6 мм рт. ст., $n_D^{20} = 1,6186$; $d_4^{20} = 0,9985$.

Найдено %: С 91,54; 91,52; Н 8,28; 8,26
C₁₃H₁₄. Вычислено %: С 91,71; Н 8,29

В результате его гидрирования при обыкновенной температуре и давлении водорода 125 ат., в присутствии скелетного никелевого катализатора, был получен бесцветный вторичный бутилиндан-1. Свойства его приводятся в табл. 1.

Найдено %: С 89,59; 89,57; Н 10,47; 10,50
C₁₃H₁₈. Вычислено %: С 89,58; Н 10,42

С одним объемом 98% серной кислоты углеводород полностью просульфировался через 30 мин




Из индана и метил-бутилкетона, введенных в реакцию в условиях данных Ружичка и Пейер (⁸), была выделена широкая углеводородная фракция желтого цвета, 136°/4—145°/4, имеющая $n_D^{20} = 1,5950$. В результате гидрирования ее в вышеописанных условиях, вакуумной разгонки и хроматографического разделения на силикагеле был выделен бесцветный углеводород 2-гексилиндан-1. Свойства углеводорода даны в табл. 1.

Найдено %: С 88,90; 88,96; Н 11,09; 11,05
C₁₅H₂₂. Вычислено %: С 88,88; Н 11,12

С одним объемом 98% серной кислоты углеводород полностью просульфировался через 60 мин., а с двумя объемами 98% серной кислоты через 30 мин. С инденом и ацетоном, в отличие от предыдущего способа ⁽⁸⁾, реакция проводилась в эфирном растворе и в токе азота. Наши опыты показали, что в

Т а б л и ц а 1

Свойства алкилинданов с заместителями в пятичленном кольце

Углеводород и формула	Т. кип., °С/мм Hg	Т. заст., °С	d_4^{20}	n_D^{20}	Анилинов, точка, °С
$C_{12}H_{16}$ Изопропилиндан-1 	223—224/748	—60, стекло	0,9339	1,5225	—18
$C_{13}H_{18}$ Втор.-бутилиндан-1  $CH_3-CH-CH_2-CH_3$	236—237/756	—70, стекло	0,9291	1,5199	—14
$C_{15}H_{22}$ 2-гексиллиндан-1  $CH_3-CH-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	276—277,5/756	—62, стекло	0,9170	1,5128	—10,5

этом случае реакция протекает с большим выходом и легче отделяется углеводород. Выделенная широкая фракция 89°/4—116°/4 желтого цвета, имеющая n_D^{20} 1,6240, была подвергнута гидрированию в вышеуказанных условиях. В результате повторной вакуумной перегонки продукта гидрирования был получен бесцветный изопропилиндан-1. Свойства его помещены в табл. 1.

Найдено %: С 89,88; 89,64; Н 9,94; 10,08
 $C_{12}H_{16}$. Вычислено %: С 89,93; Н 10,07

Изопропилиндан-1 был получен ранее взаимодействием магниорганического соединения индена с ацетоном и далее через промежуточный третичный спирт ⁽⁹⁾. В указанной работе приведена только температура кипения углеводорода.

Втор.-бутилиндан-1 уже описан в литературе ⁽³⁾. Его показатель преломления $n_D^{20}=1,5191$ почти совпадает с $n_D^{20}=1,5199$ нашего препарата.

Показатель преломления полученного нами 2-гексиллиндана-1 отличен от той же константы гексиллиндана-1 в работах ⁽³⁾ и ⁽⁵⁾. Расхождение, по-видимому, можно объяснить различием в строении гексильного радикала.

Институт нефтехимического синтеза
 Академии наук СССР

Поступило
 5 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Entel, C. H. Ruof, H. C. Howard, Anal. Chem., **25**, 1303 (1953).
- ² А. В. Топчиев, Е. С. Покровская, Т. Г. Степанцева, ДАН, **119**, 1164 (1958).
- ³ A. Maillard, A. Deluzarche, H. El. Hass, C. R., **245**, 185 (1957).
- ⁴ H. El. Hass, A. Deluzarche, A. Maillard, C. R., **245**, 540 (1957).
- ⁵ В. В. Elsner, K. J. Parker, J. Chem. Soc., **1957**, 592. ⁶ J. Thiele, Ber., **33**, 666 (1900); J. Thiele, K. Merck, Ann., **415**, 257, (1918).
- ⁷ И. А. Мусаев, Кандидатская диссертация, Институт нефти АН СССР, 1946.
- ⁸ L. Ruzicka, E. Reuer, Helv. chim. Acta., **18**, 676 (1935).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. Г. ГАНИЧЕНКО, В. Ф. КИСЕЛЕВ и К. Г. КРАСИЛЬНИКОВ

ВЛИЯНИЕ ГИДРАТАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНЕЗЕМА НА АДсорбЦИЮ АЛИФАТИЧЕСКИХ СПИРТОВ ИЗ РАСТВОРОВ

(Представлено академиком М. М. Дубининым 30 XII 1958)

Различие в степени гидратации поверхности кремнезема оказывает существенное влияние на адсорбцию паров воды ⁽¹⁾ и сравнительно малое влияние на адсорбцию предельных алифатических углеводородов ⁽²⁾, адсорбция которых определяется в основном дисперсионными взаимодействиями молекул с поверхностными атомами адсорбента. Представлялось интересным исследовать адсорбцию гомологического ряда спиртов, молекулы которых включают гидроксильную группу и углеводородные радикалы с различным числом углеродных атомов. В настоящей работе мы провели измерения адсорбции ряда нормальных спиртов из растворов в CCl_4 на образцах кремнезема с различной гидратацией поверхности. В литературе имеется очень мало сведений о влиянии гидратации поверхности кремнезема на адсорбцию различных веществ из растворов. Известно лишь, что при термической обработке силикагеля адсорбция растворенных веществ уменьшается; так в работе ⁽³⁾ было показано, что предельная адсорбция уксусной и стеариновой кислот из растворов в CCl_4 падает по мере увеличения температуры прокаливания силикагеля, однако величины удельной поверхности исследованных образцов не определялись, и авторы ⁽³⁾ не могли разделить эффекты, вызванные изменением степени гидратации поверхности и уменьшением ее величины. В последнее время в работе ⁽⁴⁾ обнаружено уменьшение предельной адсорбции лауриновой кислоты из растворов в пентане по мере дегидратации поверхности силикагеля. При исследовании величин предельной адсорбции гомологического ряда *n*-спиртов из раствора в CCl_4 работой некоторых авторов ⁽⁵⁾ показано, что по мере увеличения длины углеводородного радикала характер пористости силикагеля оказывает все возрастающее влияние на величину предельной адсорбции. Поэтому, для отдельного изучения влияния природы поверхности на адсорбцию различных по своим размерам молекул гомологического ряда, необходимо было не только определять степень гидратации поверхности, но и проводить все измерения на непористых образцах кремнезема.

В работе использовались два образца непористого кремнезема — белой сажи ⁽⁶⁾, БС-1 и БС-2. Оба образца перед опытами прокалывались при 300°, а отдельная порция БС-2 — при 700°. Методика измерений удельной поверхности и содержания структурной воды описана ⁽⁷⁾, полученные результаты приведены в табл. 1. Определение концентраций равновесных растворов проводилось с помощью интерферометра.

Таблица 1

Адсорбционные характеристики использованных образцов белой сажи

Образец	Т-ра обработки, °С	Удельная поверхность в $\text{м}^2/\text{г}$	Содержание структурной воды в $\frac{\mu\text{М}}{\text{м}^2}$
БС-2	300	169	7,9
БС-1	300	244	4,2
БС-2	700	129	2,8

Как видно из рис. 1 и рис. 2, величины предельной адсорбции исследованных спиртов, рассчитанные на 1 м^2 поверхности каждого из образцов, уменьшаются с ростом углеводородного радикала. Степень гидратации поверхности оказывает заметное влияние на величину предельной адсорбции, причем этот эффект, наиболее резко выраженный при адсорбции метанола, уменьшается по мере увеличения длины углеводородного радикала спирта. Площадка ω , приходящаяся на одну адсорбированную молекулу

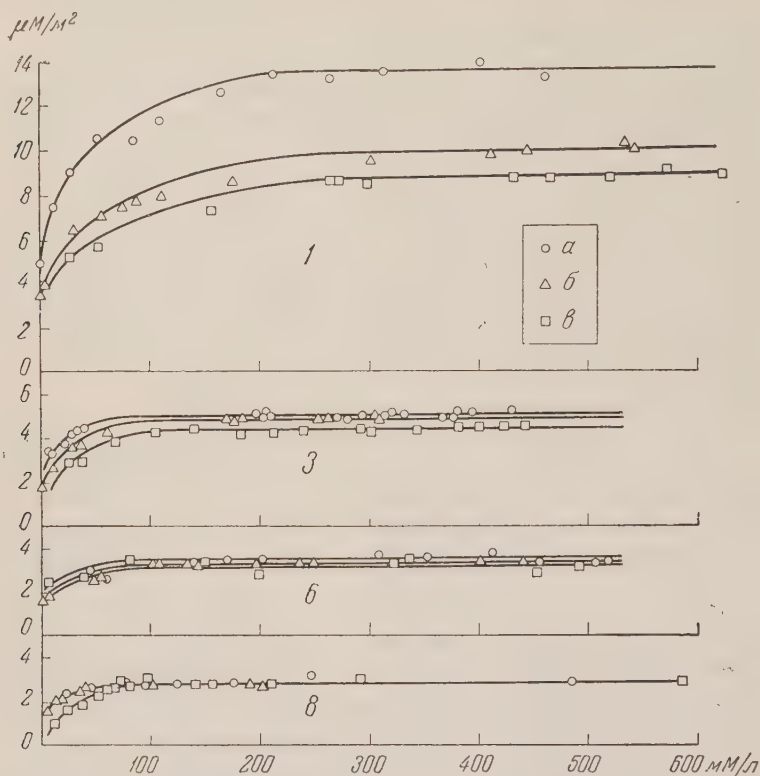


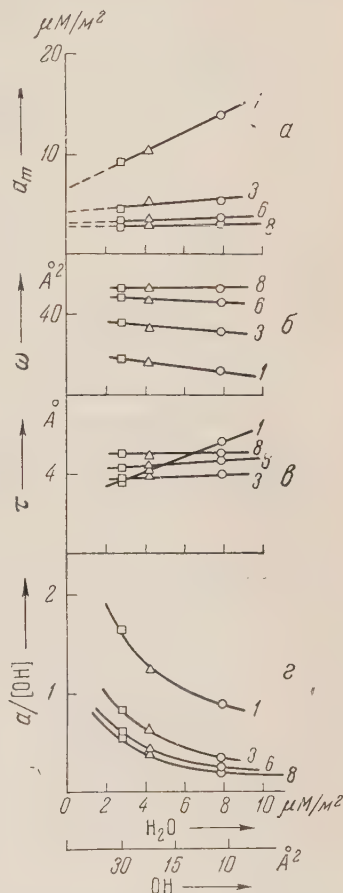
Рис. 1. Изотермы адсорбции *n*-спиртов из CCl_4 на образцах белой сажи БС-2-300° (а), БС-1-300° (б) и БС-2-700° (в). Цифры у кривых — число атомов углерода в молекуле спирта

метанола (рис. 2 б), для наиболее гидратированного образца БС-2-300°, составляет $11,7 \text{ \AA}^2$, что близко к $12,5 \text{ \AA}^2$ ⁽⁸⁾ — площадке, занимаемой гидроксильной группой. При этом на один гидроксил поверхности приходится одна адсорбированная молекула метанола (рис. 2 г). По мере дегидратации поверхности число молекул метанола, приходящихся на один гидроксил, растет, посадочная площадка ω увеличивается, а толщина адсорбированного слоя τ уменьшается (рис. 2б и 2в). Однако из подобных расчетов, основанных только на адсорбционных данных, нельзя еще сделать каких-либо заключений об истинном характере и числе образующихся связей между адсорбированными молекулами и поверхностью адсорбента, так же как и о связях адсорбированных молекул между собой и, в частности, о возникновении межмолекулярных ассоциатов ⁽⁹⁾. Сделанные в этом направлении предположения могут найти подтверждение и быть обоснованы лишь путем привлечения к решению указанного вопроса других, независимых методов и прежде всего измерений теплот адсорбции. При переходе к высшим спиртам отношение между числом адсорбированных молекул и числом поверхностных гидроксильных групп становится меньше. Молекулы, располагаясь наклонно к поверхности ⁽⁵⁾, по-видимому, экранируют часть гидроксильных групп, в связи с чем уменьшение их концентрации, в изучен-

ных пределах, начинает мало сказываться на величине предельной адсорбции для гексанола. Адсорбция же октанола практически не зависит от степени гидратации поверхности, как это следует из рис. 1 и рис. 2а. В связи с этим следует отметить, что зависимость удельной теплоты смачивания от степени гидратации поверхности силикагелей уменьшается в направлении от метанола к пропанолу, а теплота смачивания *n*-гептаном практически не меняется при термической дегидратации образцов (¹⁰). По мере увеличения длины углеводородного радикала его роль в адсорбционном взаимодействии увеличивается и адсорбционные свойства высших спиртов приближаются к свойствам соответствующих углеводов. С другой стороны, нельзя считать, что адсорбция спиртов происходит только на силаноловой части поверхности. Если принять, что приведенная на рис. 2а линейная зависимость предельной адсорбции спиртов от степени гидратации поверхности сохраняется вплоть до полной ее дегидратации, легко видеть, что и на оксидной поверхности имеет место значительная адсорбция спирта.

Согласно (¹¹), на непористых гидрофильных адсорбентах следует ожидать постоянства предельной адсорбции в гомологическом ряду алифатических спиртов, что соответствует представлению о такой ориентации молекул в поверхностном слое, при которой адсорбционное взаимодействие осуществляется за счет гидроксильной группы спирта, а углеводородные радикалы располагаются нормально к поверхности. Однако непосредственные опыты, про-

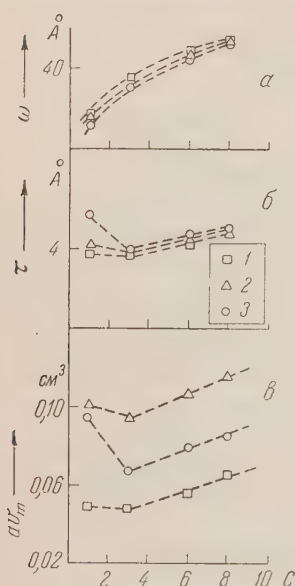
Рис. 2. Зависимость предельной адсорбции a_m (а), посадочной площадки молекул ω (б), толщины адсорбированного слоя τ (в) и соотношения между числом адсорбированных молекул и числом гидроксильных групп $a/[\text{ОН}]$ (г) от степени гидратации поверхности. Цифры показывают число атомов углерода в молекуле спирта



веденные в работе (⁵) на образце непористого кремнезема, оказались в противоречии с этим предположением. С увеличением длины углеводородного радикала спирта предельная адсорбция падает, соответственно величина посадочной площадки молекулы растет, причем ее прирост на одну CH_2 -группу в гомологическом ряду уменьшается. Отсюда был сделан вывод, что адсорбированные молекулы спиртов преимущественно «лежат» на поверхности, а для высших спиртов располагаются по отношению к ней наклонно. Полученные в настоящей работе данные, приведенные на рис. 3, позволяют распространить выводы, сделанные в (⁵), на поверхности различной степени гидратации. При рассмотрении этих данных обращает на себя внимание малая величина посадочной площадки и значительное увеличение толщины адсорбированного слоя в случае адсорбции метанола на образце БС-2-300°, обладающем максимальной гидратацией поверхности, что, по-видимому, связано с изменением ориентации молекул метанола в этом случае.

Поверхность кремнезема неоднородна (¹²), она состоит из качественно различных участков или мест, обладающих различными энергетическими и

адсорбционными свойствами. Эта неоднородность определяется различным расположением кремнийкислородных тетраэдров, а следовательно, степенью гидратации поверхности, т. е. соотношением между силаноловыми и силоксановыми ее участками. Различия в расположении тетраэдров SiO_2 на поверхности может возникнуть в процессе приготовления образцов и их дальнейшей обработки. В частности, при термической обработке структурные элементы решетки кремнезема — тетраэдры SiO_4 — приобретают некоторую подвижность, на возможность которой указывают полиморфные превращения в системе SiO_2 (¹⁵) (β — γ -тридимит, α — β -кристобалит (117—270°), а также α — β -кварц (575°)). Перестройка тетраэдров SiO_2 будет, по-видимому, начинаться и сравнительно легко проходить на поверхности образцов, где условия их односторонней связи с объемной фазой будут благоприятствовать этому. Такой перестройкой обусловлен процесс термической дегидратации поверхности. При этом, как было показано в настоящей работе, ориентация адсорбированных молекул спиртов меняется в зависимости от степени гидратации поверхности. Поскольку ориентация молекул определяется их взаимодействием между собой, с объемной



превращения в системе SiO_2 (¹⁵) (β — γ -тридимит, α — β -кристобалит (117—270°), а также α — β -кварц (575°)). Перестройка тетраэдров SiO_2 будет, по-видимому, начинаться и сравнительно легко проходить на поверхности образцов, где условия их односторонней связи с объемной фазой будут благоприятствовать этому. Такой перестройкой обусловлен процесс термической дегидратации поверхности. При этом, как было показано в настоящей работе, ориентация адсорбированных молекул спиртов меняется в зависимости от степени гидратации поверхности. Поскольку ориентация молекул определяется их взаимодействием между собой, с объемной

Рис. 3. Величины посадочных площадок ω (а), толщин адсорбированного слоя τ (б) и предельного объема av_m (в) нормальных спиртов на образцах белой сажи БС-1-300° (1), БС-2-300° (2) и БС-2-700° (3)

фазой и с поверхностью адсорбента, по мере заполнения последней может возникнуть такое положение, при котором энергетически более выгодным окажется изменение первоначальной ориентации молекул в соответствии с их более плотной упаковкой. Увеличение адсорбции в этом случае будет проявляться в виде скачка или ступеньки на изотерме адсорбции (¹³, ¹⁴). Очевидно, что изменение природы поверхности адсорбента может оказывать влияние на этот эффект. В работе (¹³) было показано, что используя один и тот же образец силикагеля, в зависимости от его предварительной термической обработки, можно получить как ступенчатую, так и гладкую изотерму адсорбции.

Авторы выражают благодарность Б. В. Ильину за поддержку этой работы и обсуждение результатов.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. В. Ильин, В. Ф. Киселев, К. Г. Красильников, Вестн. Московск. унив., № 6, 35 (1957).
- ² Л. Д. Беляков, А. В. Киселев, ДАН, 119, 298 (1958).
- ³ А. В. Киселев, И. А. Ворме и др., ЖФХ, 19, 83 (1956).
- ⁴ I. N. de Boez, M. E. Hermans, I. M. Vleeskens, Proc. Koninkl. nederl. akad. wet., 60, 45 (1957).
- ⁵ А. К. Бонеекая, К. Г. Красильников, ДАН, 114, 1257 (1957).
- ⁶ А. К. Бонеекая, Е. А. Леонтьев, Е. А. Харламов, ЖПХ, 30, 1237 (1957).
- ⁷ М. М. Егоров, К. Г. Красильников, В. Ф. Киселев, ЖФХ, 32, 2448 (1958).
- ⁸ R. K. Ilez, The Colloid Chemistry of Silica and Silicates, N. Y., 1955.
- ⁹ Н. Н. Грязев, ДАН, 118, 121 (1958).
- ¹⁰ Г. И. Александрова, В. Ф. Киселев и др., ДАН, 108, 283 (1956).
- ¹¹ А. В. Киселев, ЖФХ, 23, 452 (1949).
- ¹² М. М. Егоров, К. Г. Красильников, Е. А. Сысоев, ДАН, 108, 103 (1956).
- ¹³ В. Ф. Киселев, К. Г. Красильников, ЖФХ, 32, 1435 (1958).
- ¹⁴ К. В. Топчиев, И. В. Смирнова, ДАН, 123, 316 (1958).
- ¹⁵ В. Эйтель, Физическая химия силикатов, 1936.

А. И. ГОРБАНЕВ, Ю. М. КЕССЛЕР, Ю. М. ПОВАРОВ и Э. С. СЕВОСТЬЯНОВ

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 14 I 1959)

Объяснение существенных расхождений предельного закона теории Дебая — Гюккеля с опытом в области достаточно малых концентраций $c \sim 0,01$ мол/л формально может быть дано на основе: а) допущения неполной диссоциации ⁽¹⁾, б) учета изменения количества «свободного» растворителя из-за сольватации ионов ⁽²⁾ или в) учета специфического взаимодействия ионов ^(3,4). При положительных отклонениях допущение а), очевидно, не применимо, так как невозможно объяснить возрастание коэффициента активности усилением межионного взаимодействия. Исходя из б), необходимо считать гидратацию увеличивающейся в ряду $Cl^- \rightarrow J^-$, что противоречит опыту и теории. Только исходя из в) можно устранить эти и некоторые другие противоречия и дать общую картину явлений, качественно согласующуюся с опытом ⁽⁴⁾.

На основе положений, развитых ранее ⁽⁴⁾, долю вклада f_c ближнего взаимодействия ионов в коэффициент активности можно представить (для 1-1-электролита) в виде

$$\ln f_c = \frac{4}{3} \pi a^3 Bc - B\beta_1 c, \quad (1)$$

$$\beta_1 = 4\pi \int_a^{a_i+a_j} \left[\exp\left(-\frac{U_c(r_{ij})}{kT}\right) - 1 \right] r^2 dr, \quad (2)$$

$$U_c(r_{ij}) = -|u_e(r_{ij})| - |u_c^m(r_{ij})| + \left| \sum u_c^i - |u_k(r_{ij})| \right|, \quad (3)$$

где $B = 6,024 \cdot 10^{20}$; $a = r_+ + r_-$; r_+ и r_- — кристаллографические радиусы катиона и аниона; a_i и a_j — радиусы их сфер сольватации; $U_c(r_{ij})$ — потенциальная энергия ионной пары; $u_e(r_{ij})$ — энергия электростатического взаимодействия ионов; $u_c^m(r_{ij})$ — энергия сольватации ионной пары; u_c^i — то же свободных ионов; $u_k(r_{ij})$ — квантовомеханическая энергия. Допуская, что остальные эффекты дают вклад в f заметно меньший, чем (1), что согласуется с опытом, получим приближенно

$$\lg f_{оп} = \lg f_D + \lg f_c, \quad (4)$$

где $\lg f_D$ выражается предельным уравнением Дебая — Гюккеля. Применяя соотношения (1) — (4), можно подойти к объяснению опытных данных и установить некоторые закономерности.

В водных растворах при 25° и $c = 0,01$ отклонения $\lg f_{оп} - \lg f_D$ возрастают в ряду $LiCl < KClO_4 < NaF, NaNO_3, NaClO_4, RbCl, CsCl, CsBr < KCl < KBr < LiNO_3, NaCl < KJ < LiBr < NaJ < NaBr < LiClO_4 < KF < CsF$. Из этого ряда видно, что симбатность между величиной отклонения и способностью ионов к сольватации отсутствует. Оценочный расчет показывает,

что изменения $u_e(r_{ij})$ и $u_k(r_{ij})$ с увеличением радиусов ионов приблизительно взаимокompенсируются. Следовательно, причина отсутствия симбатности должна заключаться в индивидуальных отличиях ионных пар, проявляющихся в $u_c^m(r_{ij})$. Если это так, то $u_c^m(r_{ij})$, и соответственно $B\beta_1c$, должна быть некоторой немонотонной функцией какого-либо параметра, характеризующего способность ионной пары к сольватации. Исходя из самого общего представления о факторах, определяющих энергию сольватации, в качестве такого параметра можно принять величину a .

Используя уравнения (1) и (4), из опытных данных⁽⁵⁾ для растворов солей в воде при 0 и 25° и $c = 0,01$ были рассчитаны величины $B\beta_1c$ и построены графики $B\beta_1c = f(a)$ (рис. 1 и 2). Из этих графиков

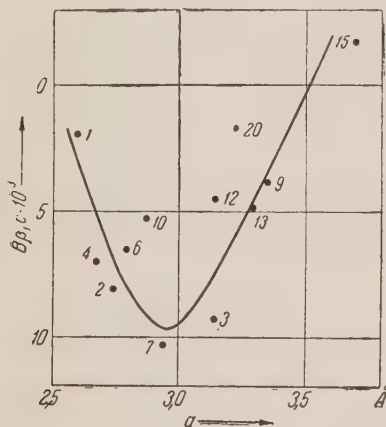


Рис. 1

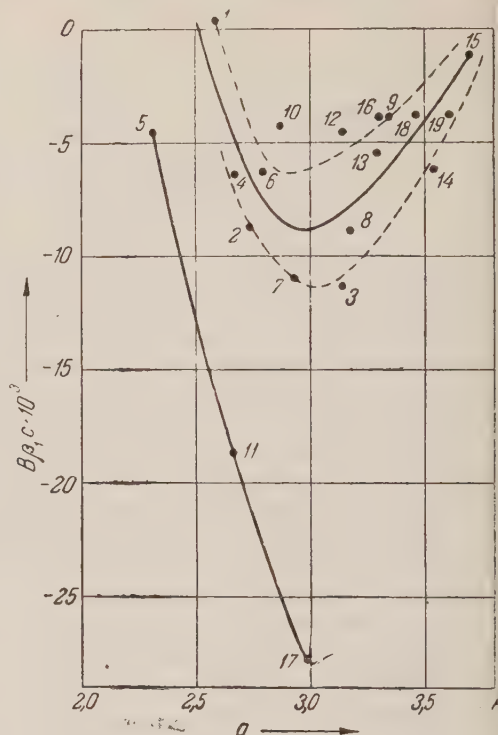


Рис. 2

Рис. 1. Отклонения от предельного закона в функции a ; H_2O , 0°. 1 — LiCl, 2 — LiBr, 3 — LiClO₄, 4 — LiNO₃, 5 — NaF, 6 — NaCl, 7 — NaBr, 8 — NaJ, 9 — NaClO₄, 10 — NaNO₃, 11 — KF, 12 — KCl, 13 — KBr, 14 — KJ, 15 — KClO₄, 16 — RbCl, 17 — CsF, 18 — CsCl, 19 — CsBr, 20 — KNO₃.

Рис. 2. Отклонения от предельного закона в функции a ; H_2O , 25°. Обозначения см. рис. 1.

видно, что зависимость $B\beta_1c$ от a действительно существует, хотя разброс точек велик. Последнее, однако, не должно считаться неожиданным, если учесть, что при расчете $B\beta_1c$ мы пренебрегаем влиянием на отклонения от предельного закона всех остальных факторов, кроме коволюмного эффекта. Расположение фторидов на отдельной кривой можно объяснить, приняв во внимание, что энергия гидратации F^- на 30% больше (по модулю), чем Cl^- — самого сильно гидратированного аниона из числа входящих в рассматриваемые соли. Поэтому для фторидов верхний предел интеграла (2) должен быть взят больше за счет a_j , чем для других солей. Учитывая сильную зависимость β_1 от $a_i + a_j$, этого рассуждения достаточно для объяснения поведения фторидов. Кроме того, здесь, по-видимому, следует принимать во внимание и возможный гидролиз.

Интересно отметить, что полученные кривые имеют экстремум при $a \approx 2r_{H_2O}$. Хотя соотношение размеров сольватуемого объекта и молекул растворителя имеет важное значение⁽⁶⁾, в случае сольватации ионной пары вероятно, большую роль играет соотношение между a и длиной диполя в молекуле растворителя. В случае молекулы воды расстояние между противоположными зарядами (для квадрупольной модели) сравнительно мало

отличается от диаметра молекулы в целом, что и приводит к обнаруженной закономерности.

Так как энергия сольватации ионов является функцией $b = 1/r_+^2 + 1/r_-^2$ (ион — дипольное взаимодействие) или $g = 1/r_+ + 1/r_-$ (поляризация континуума и взаимодействие заряд — заряд), то следовало выяснить, какая зависимость существует между $B\beta_{1c}$ и b и g . Оказалось, что на графиках $B\beta_{1c} = f(b)$ и $B\beta_{1c} = f(g)$ точки распределяются совершенно беспорядочно

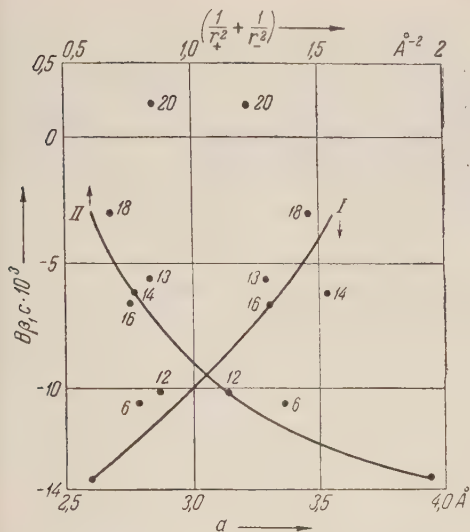


Рис. 3. Отклонения от предельного закона в функции a (I) и b (II); формамид, $\sim 2^\circ$. Обозначения см. рис. 1

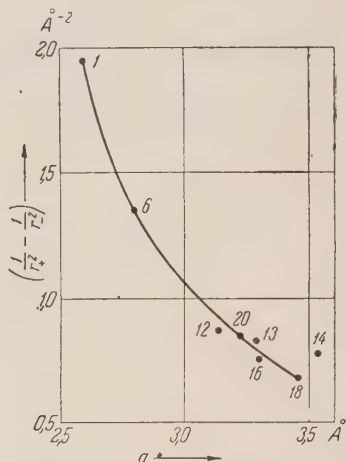


Рис. 4. Зависимость между a и b . Обозначения см. рис. 1

по всей площади графиков, т. е. какая-либо зависимость отсутствует. Это доказывает, что фактором, определяющим отклонения от предельного закона, является гидратация ионной пары.

Для других растворителей с высокой ДК данные по коэффициентам активности имеются только для формамидных растворов (⁷). Вычисленные из них величины $B\beta_{1c}$ при $\sim 2^\circ$ и $c = 0,02$ представлены в функции a на рис. 3. Тенденция к появлению экстремума на кривой по мере приближения значения a к длине диполя (для формамида $\sim 2\text{Å}$) сохраняется, однако в этом случае есть неясность. Подбор солей, для которых имеются данные, случайно оказался таким, что между a и b, g для них существует плавная зависимость, представленная на рис. 4 для случая $a = f(b)$. Поэтому и $B\beta_{1c}$ плавно зависит от b . Если по кривой рис. 4 задаться произвольной парой значений a и b и потом найти соответствующие им значения $B\beta_{1c}$ по кривым I и II рис. 3, то найденные таким путем значения $B\beta_{1c}$ практически совпадают. Например, $a = 3,0$ соответствует $b = 1,06$; для $B\beta_{1c}$ находим $1,0 \cdot 10^{-2}$ и $0,97 \cdot 10^{-2}$ соответственно. То же самое наблюдается и в случае зависимости $B\beta_{1c} = f(g)$. Это означает, что лишь одна из переменных, a, b или g , является истинным аргументом функции $B\beta_{1c}$. Для выяснения, какая именно, необходимы данные для солей, не укладывающихся на кривую рис. 4 (например, LiBr, NaF, NaJ, LiClO₄).

Какая-либо определенная зависимость от a, b или g отклонений от предельного закона теплот разбавления водных растворов при 25° и $c = 0,01$ отсутствует. Это можно было ожидать в силу того, что, как отмечалось ранее (⁴), различные эффекты дают неравноценные вклады в коэффициент активности, но близкие по величине вклады в теплоту разбавления. Иными словами, пренебрежение энтропийными членами оказывается незаконным.

Поэтому для установления закономерностей в случае теплот разбавления прежде необходимо выделить вклад, приходящийся на долю данного эффекта.

Институт электрохимии
Академии наук СССР

Поступило
26 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. Nernst, Zs. Elektrochem., **33**, 428 (1927); Zs. phys. Chem., **135**, 23 (1928). ² R. H. Stokes, R. A. Robinson, J. Am. Chem. Soc., **70**, 1870 (1948). ³ E. Glueckauf, Trans. Farad. Soc., **51**, 1235 (1955). ⁴ Ю. М. Кесслер, А. И. Горбанев, ДАН, **111**, 437 (1957); Изв. Вост. филиалов АН СССР, № 6, 50 (1957). ⁵ Г. Харнед, Б. Оуэ, Физическая химия растворов электролитов, ИЛ, 1952; С. Глестон, Введение в электрохимию, ИЛ, 1951. ⁶ О. Я. Самойлов, Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов, Изд. АН СССР, 1957. ⁷ Е. Н. Васенко, ЖФХ, **21**, 361 (1947); **22**, 999 (1948); **23**, 959 (1949).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. И. КРАСИЛЬЩИКОВ, Л. М. ВОЛЧКОВА, И. К. БУРЦЕВА и В. Д. ПЛАСУНОВ
О МЕХАНИЗМЕ МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ
СТАЛИ В АЗОТНОЙ КИСЛОТЕ

(Представлено академиком А. М. Фрумкинским 22 I 1959)

Известно, что при неравномерном доступе кислорода между двумя железными или цинковыми электродами, погруженными в раствор нейтрального электролита, возникает ток дифференциальной аэрации, причем электрод,

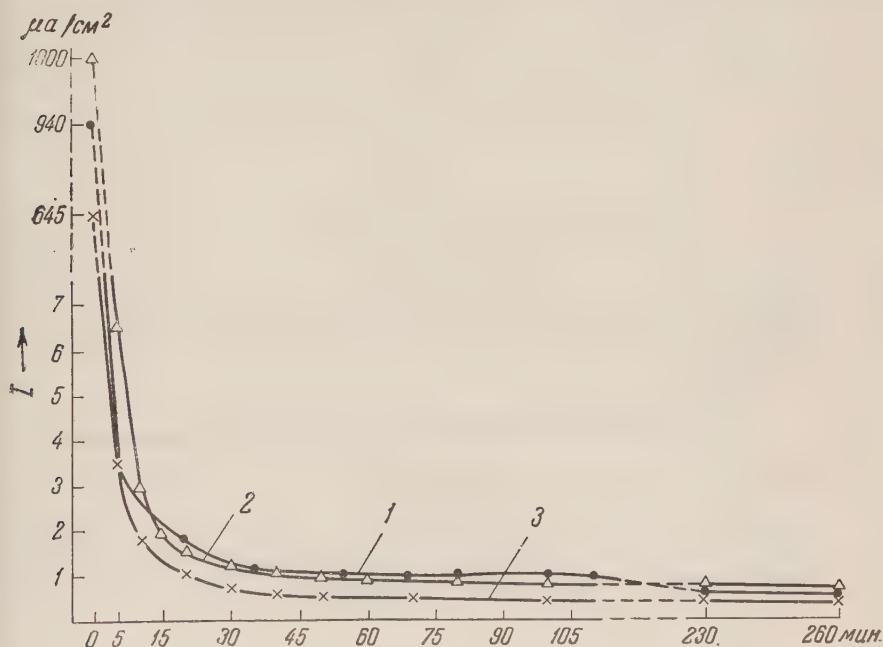


Рис. 1. Влияние разности концентраций HNO_3 на поведение стали Я1-Т при 60° .
Левое отделение ячейки 56% HNO_3 , правое отделение ячейки: 1 — 2%, 2 — 0,6%,
3 — 0,06% HNO_3

к которому подводится кислород, становится катодом, а второй электрод, к которому доступ кислорода затруднен, подвергается анодному растворению.

Подобное явление не должно быть связано со специфическими особенностями кислорода и принципиально оно может быть вызвано преимущественным подводом к одному из электродов также и других окислителей, кроме кислорода.

В настоящей работе доказывается, что между двумя электродами из нержавеющей стали, погруженными в растворы азотной кислоты различной концентрации, возникает ток, причем электрод, находящийся в более концентрированной кислоте, служит катодом, а электрод, находящийся в более разбавленной кислоте, подвергается анодному растворению.

На рис. 1 показаны токи дифференциальной деполяризации, возникающие при 60° между двумя электродами из нержавеющей стали, находящимися в растворах азотной кислоты в ячейке, разделенной пористой перегородкой (катод в 56%-й кислоте, анод в более разбавленной кислоте). Наличие указанных токов связано, очевидно, с некоторым различием в степени пассивации

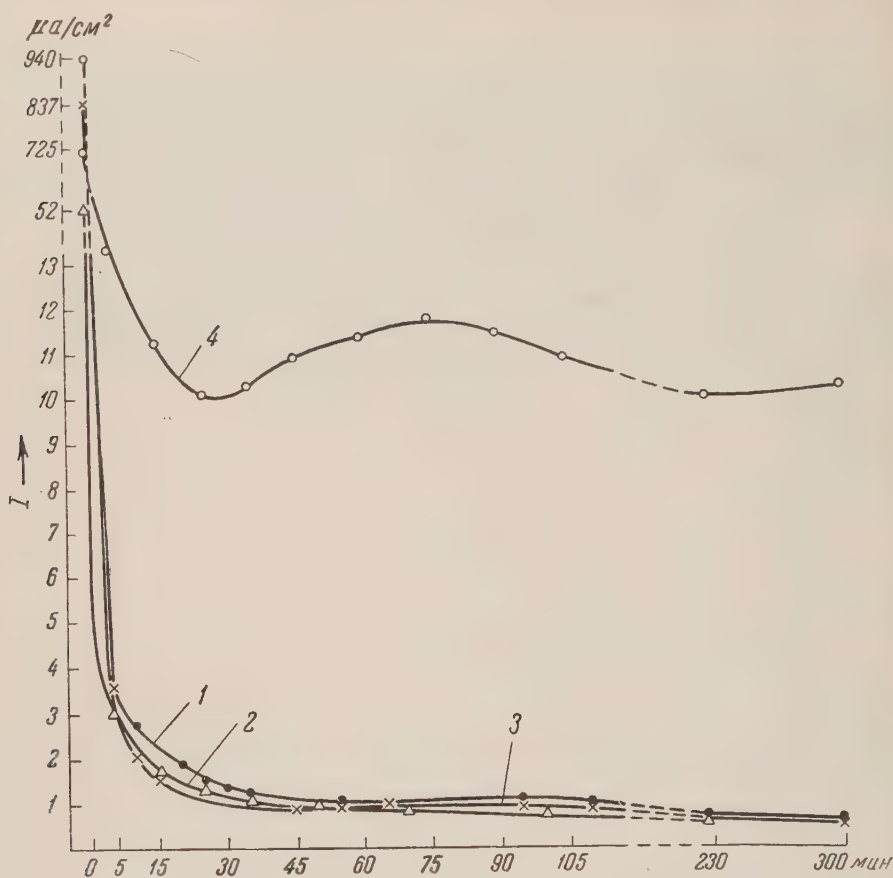


Рис. 2. Влияние разности концентраций HNO_3 и различных добавок (Cr^{3+} , Cr^{6+} , Fe^{3+}) на поведение стали Я1-Т при 60° . Правое отделение ячейки 2% HNO_3 , левое: 1—56% HNO_3 , 2—56% $\text{HNO}_3 + \text{Fe}^{3+}$ 3 г/л, 3—56% $\text{HNO}_3 + \text{Cr}^{3+}$ 3 г/л, 4—56% $\text{HNO}_3 + \text{Cr}^{6+}$ 3 г/л

вирования обоих электродов (катод запассивирован в несколько большей степени по сравнению с анодом).

Представим себе теперь образец нержавеющей стали в азотной кислоте. Доступ кислоты в микротрещины на поверхности металла будет затруднен, и концентрация кислоты внутри микротрещины будет убывать вследствие коррозии и постепенно станет гораздо меньшей, чем на всей поверхности металла. Очевидно, в силу токов дифференциальной деполяризации общая поверхность металла будет служить катодом, а внутри микротрещин, расположенных обычно по границам зерен, начнут развиваться анодные процессы растворения. При благоприятных условиях такая межкристаллитная коррозия будет развиваться прогрессивно, углубляясь в толщу металла.

Как видно из рис. 1, ток дифференциальной деполяризации вначале очень велик, затем быстро убывает до величины $0,5\text{--}1,0 \text{ мА/см}^2$ и тогда остается устойчивым в течение длительного времени.

Сила тока 1 мА/см^2 соответствует скорости растворения около одного микрона в месяц. Так как зерна металла имеют размеры порядка долей

микрона, такая скорость растворения может привести к быстрому разрушению связей между зернами.

На рис. 2 видно, что добавки к азотной кислоте трехвалентного железа или трехвалентного хрома не влияют на величину токов дифференциальной деполяризации. Напротив, добавка окислителя в анионной форме (шестивалентный хром) резко повышает величину этих токов.

В горячей концентрированной азотной кислоте возможно прямое химическое окисление трехвалентного хрома, переходящего в раствор из нержавеющей стали, в шестивалентный ⁽¹⁾. Действительно, как известно, именно в этих условиях особенно усиливается и межкристаллитная коррозия нержавеющей стали ⁽²⁾. В стандартном кислом растворе сернокислой меди межкристаллитная коррозия нержавеющей стали протекает аналогичным образом, причем роль окислителя играет смесь ионов двухвалентной и одновалентной меди.

Приложение к образцу нержавеющей стали растягивающих усилий должно способствовать развитию микротрещин на поверхности металла, особенно в местах концентрации напряжений и, следовательно, должно также способствовать развитию межкристаллитной коррозии. Это влияние хорошо известно из литературы ^(3,4).

Наблюдаемый характер коррозии зависит от соотношения токов дифференциальной деполяризации i_1 и общего коррозионного тока растворения i_2 поверхности металла. В случаях, когда $i_1 > i_2$, коррозия носит преимущественно межкристаллитный характер. В случаях же, когда $i_2 > i_1$, наблюдается равномерная коррозия металла.

Поступило
22 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. E. Truman, J. Appl. Chem., 4, 273 (1954). ² H. T. Shirley, J. Iron and Steel Inst., 171, 111 (1952). ³ А. В. Рябченков. Коррозионно-усталостная прочность стали, 1953. ⁴ Г. Л. Шварц, М. М. Кристаль, Коррозия химической аппаратуры, 1958.

Е. Н. МИРОЛЮБОВ, М. М. КУРТЕПОВ и Н. Д. ТОМАШОВ

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КАТОДНОГО ПРОЦЕССА НА НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ В РАСТВОРАХ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

(Представлено академиком А. М. Фрумкиным 24 I 1959)

Общепризнано, что процесс коррозии металлов и сплавов, в том числе и нержавеющей сталей, в растворах электролитов является электрохимическим. В связи с этим рассмотрение природы электродных процессов на различных конструкционных материалах в агрессивных средах представляет несомненный интерес. В опубликованных работах, касающихся кинетики

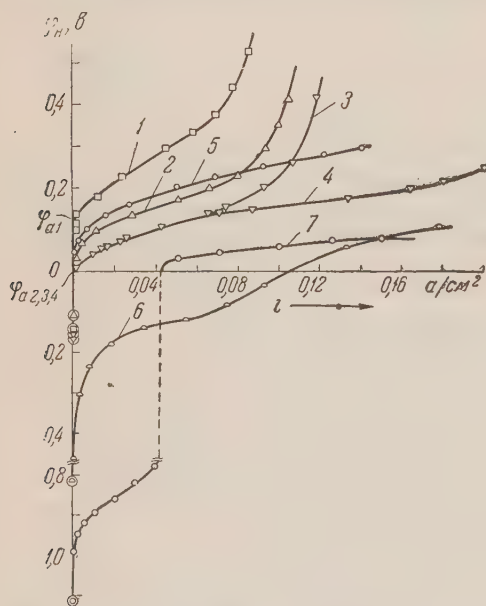


Рис. 1. Катодные поляризационные кривые для нержавеющей сталей и платины в растворах азотной кислоты при 20° в отсутствие перемешивания: 3% HNO_3 : 1—1X28; 2—1X17; 3—1X18H11Б; 4—1X18H11Б с перемешиванием раствора 2500 об/мин; 5—Pt; 30% HNO_3 : 6—1X18H11Б; 7—Pt

электродных процессов на нержавеющей сталях в растворах азотной кислоты, катодные процессы рассматриваются обычно без учета возможности нарушения пассивного состояния сталей при катодной поляризации (¹), а также без учета специфических свойств кислоты. Указанные вопросы и разобраны в настоящем исследовании.

Для изучения катодных процессов на нержавеющей сталях в растворах азотной кислоты был принят метод получения катодных поляризационных кривых. При каждой задаваемой плотности внешнего катодного тока фиксировались потенциал и потери веса электродов за время опыта (30 минут). Каждая точка катодной поляризационной кривой получалась на новом образце. Изучались нержавеющей хромистые стали с содержанием хрома 17 и 28% после отжига при 760° и хромоникелевая типа 18—8 с ниобием после закалки при 1050°. Значения потенциалов везде на рисунках даны по отношению к нормальному водородному электроду.

На рис. 1 приведены катодные поляризационные кривые для ряда нержавеющей сталей, а также гладкого платинового электрода в 3% азотной кислоте, являющейся полностью диссоциированной (^{2,3}), и в 30% HNO_3 содержащей недиссоциированные гомеополлярные молекулы азотной кислоты. Из рис. 1 видно, что на поляризационных кривых для сталей в 3% азотной кислоте имеются точки перегиба и отмечаются предельные токи, величины на которых зависят от состава электрода. В случае платинового катода пре-

дельный ток отмечается только в 30% азотной кислоте (кривая 7). Наличие точек перегиба и предельных токов на катодных поляризационных кривых свидетельствует ⁽⁴⁾ о переходе, начиная с определенного для каждого материала потенциала, от контроля катодного процесса скоростью электродной реакции к контролю скоростью подвода к поверхности электрода восстанавливающихся частиц — деполяризатора. Подвод деполяризатора может осуществляться, очевидно, как за счет диффузии его из толщи раствора, так и за счет образования по химической реакции на поверхности электрода.

Из рис. 1, кроме того, видно, что как в 3%, так и в 30% растворах азотной кислоты перенапряжение катодного процесса на электродах из нержавеющей стали (например, стали 1Х17, 1Х18Н11В) может быть ниже, чем в тех же условиях на платине.

Согласно литературным данным ⁽⁵⁾ на платиновом катоде в полностью диссоциированных растворах азотной кислоты (ниже 18—20%) идет выделение водорода, в более концентрированных растворах с гомеополярными молекулами азотной кислоты выделению водорода предшествует идущий при более положительных потенциалах процесс восстановления азотной кислоты до азотистой, автокатализируемый азотистой кислотой. Процесс восстановления азотной кислоты на платиновом электроде может идти и в полностью диссоциированных растворах при добавлении к ним извне азотистой кислоты.

Известно, что на платиновом катоде перенапряжение водорода является минимальным ⁽⁶⁾. Наличие на нержавеющей сталях значений перенапряжения катодного процесса более низкого, чем перенапряжение водорода на платине, позволяет считать, что на нержавеющей сталях в растворах азотной кислоты в изучаемой области потенциалов идет не выделение водорода, а какой-то другой катодный процесс.

Природа катодного процесса на нержавеющей сталях в растворах азотной кислоты может быть, как будет показано далее, объяснена нарушением пассивности сталей. В отличие от инертного платинового электрода электроды из нержавеющей сталей при катодной поляризации в растворах азотной кислоты подвергаются коррозии ⁽⁷⁾. Зависимости скорости коррозии нержавеющей сталей от потенциала представлены на рис. 2. Мы видим, что по достижении потенциала активирования (φ_a) нержавеющие стали начинают подвергаться заметной коррозии, скорость которой растет при смещении потенциала в сторону отрицательных значений; при потенциале активного состояния (φ_{ac}) скорость коррозии становится максимальной; при сдвиге потенциала отрицательнее φ_{ac} скорость коррозии уменьшается — наступает катодная электрохимическая защита активной нержавеющей стали.

Сопоставляя катодные поляризационные кривые (рис. 1) с кривыми, выражающими зависимость скорости саморастворения нержавеющей сталей от потенциала (рис. 2), можно заметить, что катодный процесс на сталях в полностью диссоциированном растворе азотной кислоты идет с заметными скоростями только начиная с потенциала активирования. Потенциалы точек перегиба на катодных поляризационных кривых приблизительно

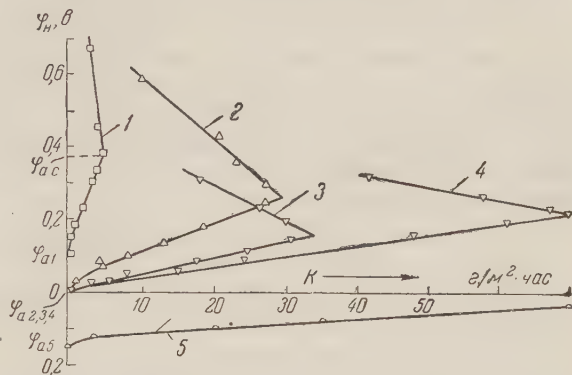
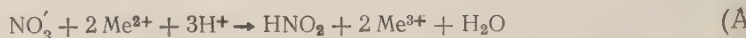


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии от потенциала для нержавеющей сталей в растворах азотной кислоты при 20° в отсутствие перемешивания: 3% HNO_3 : 1—1Х28; 2—1Х17; 3—1Х18Н11В; 4—1Х18Н11В перемешиванием раствора 2500 об/мин; 30% HNO_3 : 5—1Х18Н11В

равны потенциалам активного состояния сталей, т. е. потенциалам, начиная с которых скорость саморастворения уменьшается. Эти факты указывают на то, что продукты саморастворения сталей в растворах азотной кислоты влияют на скорость катодного процесса, увеличивая ее. Такой вывод подкрепляется также и тем, что перемешивание кислоты, ускоряющее саморастворение нержавеющей сталей, ведет к росту предельного катодного тока на стальном катоде (рис. 1 и 2, кривые 3 и 4).

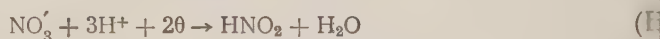
В первом приближении механизм влияния продуктов саморастворения на скорость катодного процесса на активированных нержавеющей стали можно понять, если учесть, что из элементов, входящих в состав нержавеющей сталей, например, железо и хром переходят в раствор при активном состоянии стали в виде двухвалентных ионов (⁸). Аналитически же они определяются в растворах азотной кислоты, в основном, в виде трехвалентных ионов, что объясняется их окислением в растворе. Окисление этих ионов может идти по реакции:



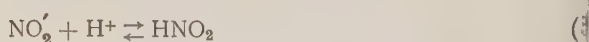
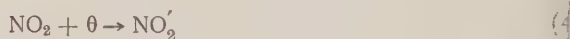
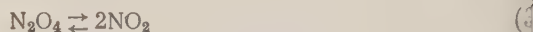
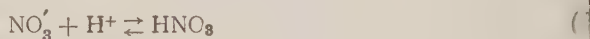
с восстановлением нитрат-ионов до азотистой кислоты. Существует экспериментальное доказательство возможности восстановления азотной кислоты двухвалентными ионами железа (⁹).

Если продукты саморастворения могут восстановить нитрат-ионы до азотистой кислоты, являющейся автокатализатором восстановления азотной кислоты, то тогда на активированных сталях, по существу, идет катодный процесс восстановления азотной кислоты, аналогичный катодному процессу на платиновом катоде в полностью диссоциированных растворах азотной кислоты с добавками азотистой.

Механизм катодного восстановления азотной кислоты на инертном электроде рассмотрен Феттером (^{10,11}). Общая реакция восстановления азотной кислоты:

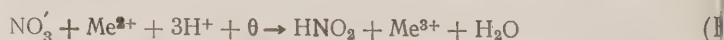


идет ступенями



Стадией, лимитирующей скорость катодного восстановления азотной кислоты, является ступень (4). Величина предельного тока восстановления азотной кислоты определяется скоростью химической реакции (2), по которой образуются восстанавливающиеся молекулы двуокиси азота. Отмечавшееся (^{6,10}) уменьшение предельного катодного тока на платине при перемешивании азотной кислоты объясняется удалением двуокиси азота от поверхности электрода. Как показано Феттером, реакция (2) является гетерогенной.

Для случая восстановления азотной кислоты на саморастворяющемся электроде добавляется еще одна ступень, изображаемая уравнением (A). Суммарное уравнение восстановления азотной кислоты на саморастворяющемся катоде представится в виде:



Отсутствие влияния перемешивания на перенапряжение рассматриваемого процесса (рис. 1, 3, 4) позволяет считать, что стадией, лимитирующей

скорость катодного восстановления азотной кислоты на активированных сталях, как и на платине, является электродная реакция (4). Величина предельного катодного тока, определяемая согласно уравнению (2) при заданной концентрации азотной кислоты концентрацией азотистой кислоты в приэлектродном слое, в случае катода из нержавеющей стали должна зависеть от скорости реакции (А), по которой образуется азотистая кислота. Так как скорость этой реакции зависит от природы и скорости саморастворения электрода, величина предельного катодного тока должна определяться составом электрода, что и наблюдается.

Установленные в данном исследовании особенности катодного процесса на электродах из нержавеющей сталей в растворах азотной кислоты: зависимость предельного тока от состава электрода и более низкое значение перенапряжения катодного процесса на нержавеющей сталях по сравнению с платиновым электродом объясняются нарушением пассивного состояния сталей при катодной поляризации и последующим образованием азотистой кислоты (автокатализатора процесса) за счет восстанавливающего действия продуктов саморастворения сталей на растворы азотной кислоты.

Институт физической химии
Академии наук СССР

Поступило
24 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Минц, Бюлл. Польск. акад. наук, отд. 3, I, 333 (1953). ² T. G. Owe Berg, Zs. allg. anorg. Chem., 265, 33 (1951). ³ И. В. Окнин, ЖПХ, 24, 167 (1951). ⁴ Н. Д. Томашов, Коррозия металлов с кислородной деполяризацией, Изд. АН СССР, М.—Л., 1947, стр. 82. ⁵ А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Иофа, Б. Н. Кабанов, Кинетика электродных процессов, М., 1952. ⁶ J. T. Ellingham, J. Chem. Soc., 1, 1565 (1932). ⁷ Н. Д. Томашов, М. М. Куртепов, Е. Н. Миролюбов, ЖФХ, 32, 904 (1958). ⁸ Theo Neumann, Passivierende Filme und Deckschichten, Berlin, 1956, стр. 256. ⁹ K. J. Vetter, H. J. Booss, Zs. Elektrochem., 56, 16 (1952). ¹⁰ K. J. Vetter, Zs. Phys. Chem., 194, 199 (1950). ¹¹ K. J. Vetter, Zs. Elektrochem., 55, 121 (1951).

М. А. РИВИН, академик Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ, В. А. ЦУКЕРМАН, В. В. СОФЬИНА
и А. С. БЕРЕГОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Было предсказано, что в детонационной волне вещество сперва подвергается ударному сжатию и лишь после этого сгорает. В каждый момент в детонационной волне между невозмущенной газовой смесью в начальном состоянии и продуктами горения в состоянии, определяемом термодинамической теорией, должен находиться слой сжатого газа. Толщина этого слоя пропорциональна времени, необходимому для выделения тепла в процессе химической реакции сжатого газа. Несмотря на то, что прошло более 15 лет со времени четкой формулировки этих соотношений (¹⁻³), экспериментальные сведения о сжатом слое во фронте детонационной волны остаются весьма скудными (⁴⁻⁶). Попытки Кистяковского с сотрудниками (^{7,8}) обнаружить этот слой при помощи рентгеновского денситометра, использующего сцинтилляционный счетчик и осциллографическую технику, не дали однозначных результатов из-за малого разрешения методики. Дальнейшее развитие этой техники проводилось в основном в направлении увеличения точности измерения плотности газа (⁹).

В 1945 г. М. А. Ривин, Я. Б. Зельдович и В. А. Цукерман начали исследование плотности во фронте детонации смесей гремучего газа с иодистым водородом методом импульсного рентгенографирования, однако из-за тяжелой болезни и смерти М. А. Ривина эти работы были прекращены.

В 1957 г. опыты были возобновлены. Особенностью методики, примененной в настоящей работе, является использование в качестве источника рентгеновского излучения импульсной игольчатой трубки (¹⁰) с анодом из циркония, а в качестве поглощающей добавки к гремучему газу криптона. Характеристическое излучение циркония ($\lambda_{K\alpha} = 0,788 \text{ \AA}$) попадает в полосу поглощения криптона. Указанная комбинация излучения и поглощающей добавки позволила регистрировать изменения плотности в сравнительно тонких слоях газовых смесей. В основной серии опытов при исследовании детонации смесей гремучего газа с криптоном использовались трубки из органического стекла с внутренним диаметром 20 мм и толщиной стенок 1,5 мм. Начальное давление газа составляло 0,5 кГ/см². Контрольные опыты по рентгенографированию ударной волны в чистом криптоне проводились в трубках с внутренним диаметром 5 мм при начальном давлении 1 кГ/см².

Инициирование детонации в газовой смеси и ударной волны в чистом криптоне осуществлялось электрическим «взрывом» проволоки из нихрома толщиной 0,1 мм при разряде через нее мало индуктивного конденсатора емкостью 20 мкф, заряженного до напряжения 5—6 кв. Одновременно с рентгенографированием волны производилось измерение скорости детонации при помощи электроннолучевого осциллографа.

Размытие изображения в направлении детонации при продолжительности рентгеновской вспышки в 0,2 мек. было не более 0,3 мм. Отклонение направления рентгеновских лучей от плоскости фронта контролировалось

и в большинстве опытов не превышало 1° . Дополнительное размытие, связанное с конечными размерами фокусного пятна (1,5 мм), в принятой геометрии съемки не превышало 0,1 мм. Суммарное размытие изображения описанной методики можно оценить в 0,4—0,5 мм.

Основным результатом работы является не вызывающее сомнений наблюдение во фронте детонационной волны узкого слоя газа, плотность которого в 3—4 раза превышает начальную плотность (так называемая область химического пика). В большинстве опытов ее ширина (с учетом поправок на размытие) составляет 0,1—0,3 мм и находится на границе разрешения примененного метода.

На рис. 1 приведены кривые распределения плотностей в ударной волне в чистом криптоне и в детонационной волне смеси гремучего газа с криптоном, полученные микрофотометрической обработкой импульсных рентгеновских снимков. Отчетливо выявлена область, в которой плотность во фронте детонационной волны заметно больше, чем расчетная плотность продуктов реакции. Полученное в этом опыте экспериментальное значение $\rho/\rho_0 \approx 3$, видимо, занижено вследствие того, что ширина области химического пика близка к предельному пространственному разрешению методики.

В настоящее время, несмотря на большое число опытов, не удалось установить четкую зависимость ширины пика от состава и давления смеси. Дальнейшие работы предполагают совершенствование пространственного и временного разрешения метода.

Возможно также, что при подборе иной детонирующей смеси удастся расширить область высокой плотности во фронте детонационной волны и получить более точные количественные соотношения при существующей технике измерений.

Пользуемся случаем выразить глубокую благодарность Н. Н. Орловой, принимавшей участие в описанных опытах, Е. И. Леонтьевой, проводившей опыты в 1945 г., а также Р. М. Зайделю за помощь в расчетах и ценные дискуссии.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Я. Б. Зельдович, ЖЭТФ, **10**, 542 (1940). ² W. Doering, Ann. Phys., **43**, 421 (1943). ³ Я. Б. Зельдович, Теория горения и детонации, Изд. АН СССР, 1944. ⁴ С. М. Когарко, Я. Б. Зельдович, ДАН, **63**, 553 (1948). ⁵ W. R. Gilkerson, N. Davidson, J. Chem. Phys., **23**, 687 (1955). ⁶ R. E. Duff, E. Houston, J. Chem. Phys., **23**, 1268 (1955). ⁷ G. B. Kistiakowsky, J. Chem. Phys., **19**, 1611 (1951). ⁸ G. B. Kistiakowsky, P. H. Kydd, J. Chem. Phys., **25**, 824 (1956). ⁹ H. T. Knight, D. Venable, Rev. Sci. Instr., **29**, 92 (1958). ¹⁰ В. А. Цукерман, М. А. Манакова, ЖТФ, **27**, 390 (1957).

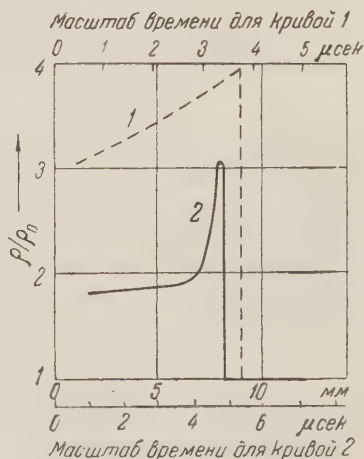


Рис. 1. Распределение относительной плотности газа ρ/ρ_0 . 1 — ударная волна в чистом криптоне при расстоянии от места инициирования до фронта 42 мм и скорости 2,4 км/сек; 2 — детонационная волна в смеси 20% $H_2 + 10\% O_2 + 70\% Kr$ при расстоянии от места инициирования до фронта 400 мм и скорости детонации 1,3 км/сек

М. В. САВОСТЬЯНОВА и Л. Г. МАЦИНОВА

КОЛЛОИДНОЕ СОСТОЯНИЕ КРАСИТЕЛЕЙ И МЕТАХРОМАЗИЯ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 24 I 1959)

Вопросу о природе изменения окраски растворов основных (катионных) красителей («метакромазия»*) в присутствии некоторых высокополимерных веществ («хромотропов») в настоящее время уделяется большое внимание в связи с применением этого явления в биологии, в частности в гистохимии для дифференциации тканей.

В настоящее время все исследователи сходятся на том^(1,2), что новый максимум поглощения M , возникающий в присутствии хромотропа и отличающийся от известных мономерного (α) и димерного (β) максимумов, принадлежит агрегированным центрам красителя. Однако ни характер этих агрегатов, ни условия их выделения еще не выяснены.

Таблица 1

Метиленовый голубой. Коллоидные растворы в бензоле. Концентрация красителя в ацетоне $\sim 10^{-3}$ г/мл. Температура измерения 17–20°

№№ п.п.	№№ опытов	Конц. ацет. в бенз. в %	Время стояния в сутках	$\lambda_{\text{макс}}$ в мμ
1	1	1,7	0	555
2			1	560
3			3	565
4			6	570
5			7	540
6	2	1,7	0	565
7			1	575
8			3	580
9	3	4,1	0	545
10			2	555
11			3	555
12			4	560
13			5	555
14			10	565

* После 3 час. прогрева при 40°.

Ниже приводятся данные для красителей: метиленовый голубой (МГ), фуксин (Ф), кристаллический фиолетовый (КФ) и цианиновый (3,3-диэтил-9-метилтиа-карбоцианин-йодид) (Ц).

Коллоидные растворы МГ (в бензоле) были приготовлены по способу, описанному одним из авторов⁽³⁾ в применении к Ф (несколько капель ацетонного раствора красителя вводятся в тщательно осушенный бензол; краситель выпадает в виде коллоидных частиц). Как и для Ф, для МГ положение максимума ослабления непостоянно (в зависимости от условий приготовления, возраста золь и температурных воздействий); по теории оптики мутных сред с поглощающими частицами это обстоятельство обусловлено различным диаметром ($2r$) коллоидных частиц. Положения максимумов ослабления для МГ приведены в табл. 1; для исследованных растворов они лежат в пределах 540–580 мμ. Кривые для крайних положений

* Это явление было открыто еще в 1875 г. при окрашивании биологических объектов. Подробный обзор работ до 1955 г. дан в⁽⁴⁾.

** Имеются в виду частицы с «фазовой поверхностью» раздела (например, кубозоли, см.⁽⁴⁾), а не «коллоидные электролиты» (бензопурпурин и др.).

*** Эта теория разработана Ми на основе уравнений, выведенных Рэлеем в его «Теории звука». См., например, ⁽⁵⁾, гл. II и III.

приведены на рис. 1. Условия экспериментального изучения коллоидных растворов МГ характеризуются большей устойчивостью этих растворов по сравнению с растворами Ф, а также тем, что максимум поглощения молекулярной формы выражен значительно слабее при большем различии в λ_m между ним и коллоидным.

Кривая поглощения для мельчайших частиц ($2\rho/\lambda \rightarrow 0$)* КФ в воде, рассчитанная по формулам Рэля — Ми по данным (7), приведена на рис. 2.

Метахроматическая окраска в наших опытах возникла при смешении водных растворов агар-агара и красителя при концентрации красителя $>10^{-7}$ г/мл.

Выпадение нерастворимых окрашенных образований (1, 2, 14) имело место при концентрации красителя $>10^{-6}$ г/мл. Выделявшиеся в растворе агара окрашенные хлопья имели вид обрывков пленки величиной до нескольких кв. миллиметров; связную пленку можно получить, нанося

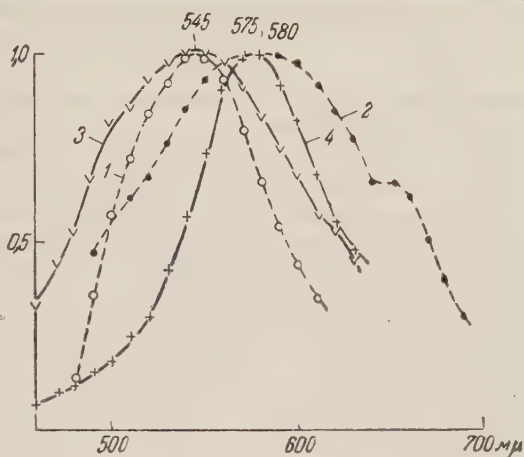


Рис. 1. Кривые ослабления в относительных единицах. Метиленовый голубой. 1 и 2 — коллоидные растворы в бензоле (табл. 1, № 9 и 8); 3 и 4 — пленки (сухие) агар-МГ (табл. 2, № 7 и 9)

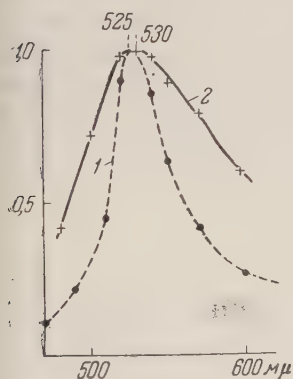


Рис. 2. Кривые ослабления в относительных единицах. Кристаллический фиолетовый. 1 — коллоидный раствор в воде (расчетные данные для мельчайших частиц); 2 — пленка (сухая) агар-КФ

раствор красителя на поверхность студня агара. В первые часы после их образования пленки могут быть разрушены нагреванием до 60—70°; при большем промежутке времени они оказываются вполне стабильными даже при температуре $\sim 100^\circ$ и не растворяются в органических растворителях (кроме водно-пиридиновой смеси). Спектральный ход поглощения таких пленок, выделенных из раствора и отмытых от избытка красителя и агара, промерялся на цитоспектрофотометре** (8). Спектр высохших пленок оказывается смещенным в сторону длинных волн (на 15—20 мμ) по сравнению со спектром влажных.

При концентрации красителя $<10^{-6}$ г/мл раствор агара представляется прозрачным***; спектральный ход поглощения в этом случае промерялся на спектрофотометре СФ-4 по сравнению с раствором агара той же концентрации. На кривых поглощения растворов всегда в большей или меньшей степени присутствуют максимумы α и β (кривые поглощения пленок дают метахроматический спектр в чистом виде). При нагревании раствора эти максимумы вырастают за счет максимума M ; при остывании наблюдается обратный ход.

* В этом случае рассеяние отсутствует, и мы можем говорить только о поглощении. Применение теории Рэля — Ми к коллоидным растворам металлов известно давно (3, 6); в (3) показано соответствие расчетных и экспериментальных данных также и для случая красителей. Точность определения положения максимума ослабления в этом случае 15—20 мμ. Расчет для МГ и Ц не мог быть произведен за отсутствием надежных данных для оптических постоянных твердых слоев.

** Приносим благодарность Л. С. Агроскину за помощь при измерениях.

*** Выпадение хлопьев в этом случае иногда имеет место при длительном стоянии раствора.

С целью суждения о постоянстве положения максимума M при различных условиях выделения красящих центров был получен ряд растворов при различных относительных концентрациях красителя и агара и было прослежено изменение спектра поглощения одного и того же раствора при

Таблица 2

Метиленовый голубой. Метахроматическая окраска

№№ пл.	№№ опытов	Конц. в г/мл		Т-ра измерения в °C	Время после образов. пленки в час.	Положение максимума M в мμ
		агар	краситель			
1	1 *	$2 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$	17	0,5	560
2				41	1,0	570
3				56	1,5	570
4				38	2,0	560
5				17	2,2	570
6	2 **	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	20	0,5	570
7	3 ***	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$	20	> 24	545
8				20	> 24	570
9				20	> 24	575
10				20	> 24	595

* Раствор в кювете; концентрации даны для смеси агара и красителя.

** Пленка на студне; концентрация красителя — в исходном растворе.

*** Отдельные участки пленок (сухих), измерения на цитоспектрофотометре (№ 7 и 10, см. рис. 1). Концентрация красителя в исходном растворе.

для коллоидных растворов расположены в области 500—560 мμ; для полос M в растворе и на пленках (высохших) нами получены кривые того же типа, с максимумами при 485—505 мμ, также с постоянным положением, зависящим от тех же условий, что и для МГ. Для КФ кривая ослабления пленки тоже близка к кривой ослабления коллоидного раствора (рис. 2). На рис. 3 начерчена кривая M для Ц; она по форме и положению совпадает с кривой так называемой полосы H , обнаруженной ^(9, 10) в водно-желатиновых растворах некоторых цианиновых красителей. Характер изменения ⁽⁹⁾ этой полосы при изменении относительной концентрации красителя и желатина, а также температуры таков же, как и при метахроматизации. Это указывает на тождество обоих явлений. С другой стороны, полоса H обнаружена ^(11, 12) для красителя, аналогичного нашему (бромид), и в водном растворе при концентрации $1 \cdot 10^{-2} M$. Очевидно, и здесь мы имеем дело с коллоидными частицами красителя, выделившимися при большой концентрации.

Приведенные данные показывают, что максимум M обусловлен центрами,

разных температурах (при помощи термостатического приспособления к СФ-4).

Некоторые результаты для МГ, полученные как с растворами, так и с пленками, приведены в табл. 2 и на рис. 1; их рассмотрение показывает, что положение максимума M не является такой постоянной величиной, как положение максимумов α и β^* ; в частности, оно зависит от температурной обработки (не воспроизводится при остывании раствора) и от условий выделения центров (различные значения λ_m для разных пленок или даже участков пленки). Сравнение данных для коллоидной и метахроматической окрасок показывает, что максимумы ослабления в том и другом случае расположены в той же области спектра и совпадают по форме кривой.

Подобную же картину мы имеем и для других красителей. Для Ф по ⁽³⁾ максимумы ослабления

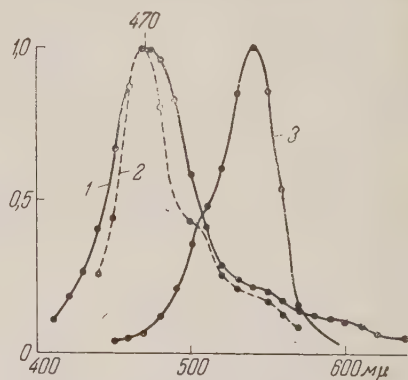


Рис. 3. Кривые ослабления в относительных единицах. 1 — сенсibilизатор йодид, слой студня агар-агара ($5 \cdot 10^{-4}$ г/мл), прокрашенный насквозь красителем конц. $3 \cdot 10^{-5}$ г/мл; 2 — сенсibilизатор бромид, водный раствор красителя при концентрации 10^{-2} мол/л (коллоидный?) ⁽¹¹⁾; 3 — спиртоводный раствор красителя (йодида) конц. 10^{-4} г/мл

* Это подтверждается литературными данными для ряда красителей и хромотропов.

имеющими коллоидную природу. (Эта точка зрения впервые была высказана еще Лизоном ⁽¹³⁾, однако сразу же им отброшена.)

Принимая за основу картину образования метакрохроматических центров, данную Сильвеном ^{(2)*} (адсорбция красителя на отрицательно заряженных группах хромотропа, а затем взаимодействие между расположенными рядом ионами красителя, приводящее к образованию агрегатов с новыми межмолекулярными связями), мы можем несколько уточнить представление об этих агрегатах. Они характеризуются оптическими постоянными, свойственными красителю в массивном состоянии (вследствие чего и дают спектр ослабления, тождественный со спектром ослабления коллоидных частиц с такими постоянными), и представляют собою образования диаметром $2r$ в несколько десятков миллимикрон. Величина $2r$, о которой мы судим по положению λ_m полосы M , меняется в зависимости от условий опыта. Так, для F разброс полученных значений для λ_m составляет 20 м μ , чему по расчету ⁽³⁾ соответствует изменение $2r$ от 0 (мельчайшие частицы) до 40 м μ .

По ⁽¹⁴⁾ одна молекула гепарина связывается с 40—50 молекулами красителя (акридиновый оранжевый); принимая среднее расстояние между молекулами при их адсорбции равным 0,4—0,5 м μ ⁽¹²⁾, получаем для диаметра коллоидной частицы в этом случае значение порядка 20 м μ (для других сочетаний красителя и хромотропа могут быть другие значения). В воде молекулы хромотропа со связанными с ними коллоидными частицами красителя дают окрашенный коллоидный раствор, характеризующийся максимумом M ; при указанной величине частиц светорассеяние такого раствора еще незначительно. Выделение упомянутых выше стабильных окрашенных пленок следует приписать слипанию окрашенных молекул хромотропа; коллоидные частицы красителя при этом могут оставаться изолированными при том же диаметре, а следовательно, и том же положении максимума M , но могут и соединяться в частицы больших размеров, вплоть до сплошного слоя, о чем свидетельствует наличие «металлического» отблеска пленок при большой концентрации красителя. Упомянутое выше обратимое смещение максимума M при высыхании пленки, указывающее, по теории, на укрупнение частиц, по-видимому, связано с каким-то изменением структуры полимерной части пленки при этом процессе.

Поступило
15 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. Schubert, D. Hamerman, J. Histochem. and Cytochem., **4**, 159 (1956). ² B. Sylven, Quart. J. Microsc. Sci., **25**, 327 (1954). ³ М. В. Савостьянова, Изв. АН СССР, сер. физ., **17**, 747 (1953). ⁴ Л. И. Беленький и др., ЖФХ, **31**, 1564 (1957). ⁵ К. С. Шифрин, Рассеяние света в мутной среде, М.—Л., (1951). ⁶ М. В. Савостьянова, Усп. физ. наук, **22**, 1 (1939). ⁷ Н. Н. Прибыткова, Л. С. Агроскин, Опт. и спектроскоп., **2**, 628 (1957). ⁸ Н. В. Королев, Л. С. Агроскин, Биофизика, **2**, 513 (1957). ⁹ А. В. Борин, И. А. Победоносцева, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., **3**, 256 (1958). ¹⁰ Г. Дикинсон, Сборн. Физическая химия фотографических процессов, ИЛ, 1954, стр. 208. ¹¹ Б. Кэрролл, У. Уэст, там же, стр. 242. ¹² У. Уэст, Б. Кэрролл, Д. Уиткомб, там же, стр. 280. ¹³ L. Lison, Arch. Biol., **46**, 599 (1935). ¹⁴ W. Appel, V. Zanker, Zs. Naturforsch., **13b**, 126 (1958).

* Подобная же картина принимается для центров H (⁹, ¹⁰).

В. Н. ШУБИН и П. И. ДОЛЫН

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА АТОМАРНОГО ВОДОРОДА ПРИ РАДИАЦИОННОМ ОКИСЛЕНИИ ИОНОВ ДВУХВАЛЕНТНОГО ЖЕЛЕЗА

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 21 I 1959)

Для объяснения высокого выхода радиационного окисления двухвалентного железа в кислом растворе в отсутствие кислорода Вейссом была предложена реакция: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2^+ = \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2$, в которой атомарный водород, образуя вместе с ионом H^+ молекулярный ион H_2^+ , выступает как окислитель. Такое объяснение высокого выхода окисления Fe^{2+} вызывает возражения у ряда исследователей. Делаются попытки объяснить высокий выход окисления Fe^{2+} участием в этой реакции радикалов OH , образующихся при распаде возбужденных молекул воды.

Очевидно, что если окисление Fe^{2+} обусловлено только OH -радикалами, то выход окисления должен уменьшаться с ростом концентрации молекулярного водорода в растворе вследствие протекания реакции: $\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{O}$, в которой радикал OH трансформируется в атом H . Влияние концентрации молекулярного водорода на выход реакции до сих пор не исследовалось.

В настоящей работе измерен выход окисления двухвалентного железа в кислом растворе под действием γ -излучения Co^{60} в интервале концентраций молекулярного водорода, соответствующих давлениям H_2 над раствором от одной до 180 атм.

Методика. Исследуемый раствор соли Мора в 0,8 N H_2SO_4 насыщался водородом в стеклянной ячейке при атмосферном давлении. Ячейка (рис. 1)

Рис. 1. Ячейка для облучения: *а* — тонкостенный шарик, *б* — раствор, *в* — перетяжка

запаивалась и помещалась в стальную бомбу, соединенную с вакуумной системой и системой давления. После откачки и трехкратной промывки водородом вакуумная часть перекрывалась, и в бомбу подавался водород до нужного давления. Тонкостенный шарик, имеющийся на ячейке, при этом раздавливался, и водород барботировался через раствор.

Использованные реактивы были марки х. ч. Исходные растворы готовились на дважды перегнанной воде. Для облучения использовались свежеприготовленные растворы. Концентрация $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ составляла $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ М. Мощность дозы была $\sim 3 \cdot 10^{15}$ эв/см³·сек. Водород очищался диффузией через палладиевый капилляр или на медном катализаторе (¹) при $t = 200^\circ$.

Результаты и обсуждение. Для каждой концентрации H_2 были сняты начальные участки кривых окисления. Рассчитанные по этим данным начальные выходы окисления нанесены на рис. 2 в зависимости от давления водорода над раствором. Как видно из рис. 2, выход реакции

не обнаруживает зависимости от концентрации водорода в растворе. Выход окисления несколько ниже, чем в растворе, насыщенном водородом при атмосферном давлении ($G=8,1$) и равен $7,7 \pm 0,25$ мол/100 эв.

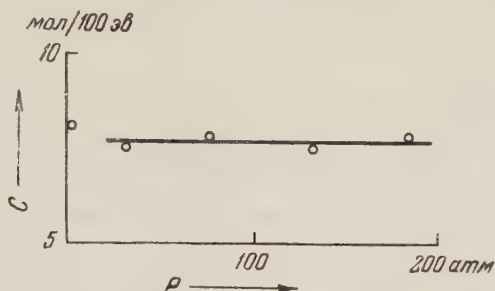
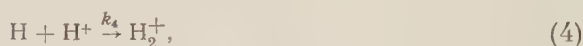
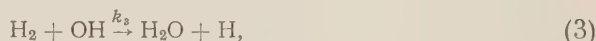
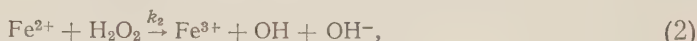
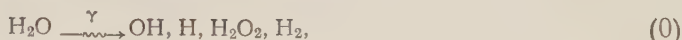


Рис. 2. Зависимость выхода окисления Fe^{2+} от давления водорода над раствором

Мы принимали, что начальный выход окисления при наших условиях определяется протеканием следующих реакций:

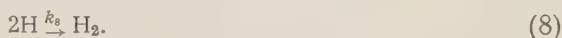
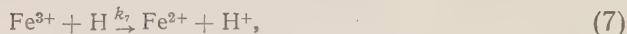
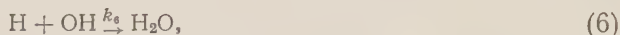


Согласно такой схеме атомарный водород, получающийся по реакциям (0) и (3), через реакции (4) и (5) участвует в процессе окисления Fe^{2+} , и выход окисления не должен зависеть от концентрации водорода в растворе.

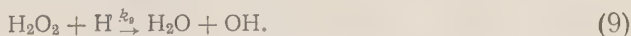
Если же реакции (4) и (5) не протекают, то необходимым следствием этого должно являться снижение выхода с ростом концентрации H_2 . Действительно, доля ОН-радикалов, реагирующих с H_2 по реакции (3), равна:

$$\frac{k_3[\text{H}_2]}{k_3[\text{H}_2] + k_1[\text{Fe}^{2+}]} = \frac{1}{1 + k_1[\text{Fe}^{2+}] / k_3[\text{H}_2]}.$$

Величина k_3/k_1 известна ⁽²⁾ и равна 0,15. В условиях насыщения при давлении водорода над раствором 180 атм эта доля составляет 0,94. Атомы H , образующиеся при этом, исчезали бы по одной из следующих реакций:



В результате выход окисления снизился бы до $G_{\text{H}_2\text{O}_2}$ или, возможно, и ниже вследствие реакции (7) и реакции:



Наблюдаемая экспериментально независимость выхода окисления от концентрации водорода в широком интервале концентраций находится в полном соответствии с приведенной выше кинетической схемой процесса

окисления, в которой атомарный водород выполняет окислительную функцию. Эта схема дает также возможность количественно объяснить имеющиеся в литературе ⁽³⁾ данные о зависимости выхода окисления от концентрации двухвалентного железа и рассчитать величину константы скорости реакции образования молекулярного иона H_2^+ . Согласно расчету величина $k_4 = 2 \cdot 10^4 \text{ л/моль} \cdot \text{сек}$.

Проведено несколько опытов в присутствии O_2 (без предварительного насыщения раствора H_2 и без откачки системы). Выходы окисления составляли: при давлении H_2 над раствором 30 атм — 41,6 мол/100 эв, при давлении H_2 75 атм — 71,2 мол/100 эв и при давлении H_2 130 атм — 108,5 мол/100 эв. Очевидно, что в этих условиях реакция окисления протекает по цепному механизму; цепь включает реакции: $\text{H} + \text{O}_2^+ \rightarrow \text{HO}_2^+$, $\text{Fe}^{2+} + \text{HO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2$, (2) и (3). Обрыв цепи происходит по реакции (1). Вычисленное, исходя из такой схемы развития цепи, отношение $k_3/k_1 = 0,135$. Эта величина хорошо совпадает с приведенным выше значением 0,15.

Поступило
19 I 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. М. Канторович, Ф. М. Раппопорт, Тр. ГИАП, в. 1, 1953, стр. 202.
² F. Dainton, T. Hardwick, Trans. Farad. Soc., 53, 333 (1957). ³ F. Dainton, H. Sutton, Trans. Farad. Soc., 49, 1011 (1953).

В. М. ЮРЬЕВ, А. Н. ПРАВЕДНИКОВ, академик С. С. МЕДВЕДЕВ

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ ЦЕТАНА

Окисление цетана проводилось при 140° в замкнутой системе с принудительной циркуляцией кислорода. Скорость поглощения кислорода определялась волюмометрическим методом, концентрация гидроперекисей — йодометрически.

Поглощение кислорода цетаном (рис. 1, 1) в начальной стадии реакции носит автокаталитический характер (до глубины 25–30%), однако при даль-

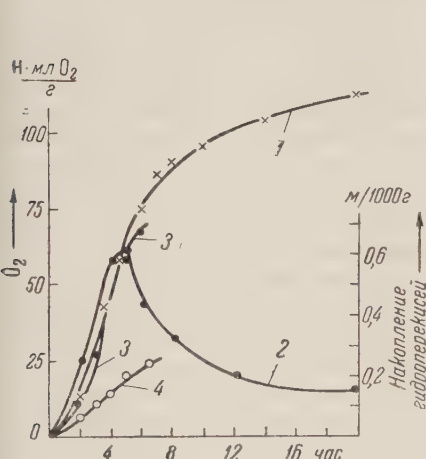


Рис. 1. Окисление цетана при 140° . 1 — окисление цетана, 2 — накопление гидроперекисных соединений. 3 — окисление цетана + 6% верхнего (углеводородного) слоя, 4 — окисление цетана + 4% нижнего (кислотного слоя)

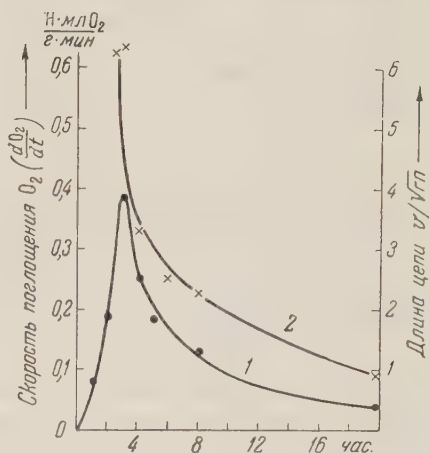


Рис. 2. Окисление цетана при 140° . 1 — изменение скорости поглощения O_2 во времени, 2 — изменение длины кинетической цепи

нейшем окислении наблюдается быстрое снижение скорости реакции; при глубине выше 40–50% реакция протекает практически с постоянной скоростью. Кривая накопления перекисных соединений (рис. 1, 2) при глубине 25–30% проходит через максимум и затем резко снижается; при глубине выше 40–50% концентрация перекисных соединений в системе остается практически постоянной.

Падение скорости поглощения кислорода при глубине 25–30%, очевидно, не связано с исчерпанием углеводорода, а тот факт, что кривые накопления перекисных соединений и изменения скорости поглощения кислорода dO_2/dt во времени (рис. 2, 1) проходят через максимум на нестационарном участке (стационарное состояние, как видно из этих рисунков, достигается при глубине выше 40–50%), свидетельствует о том, что в ходе окисления протекают процессы, приводящие к снижению скорости окисления, при-

чем роль этих процессов возрастает особенно резко при глубинах выше 25—30%, и что стационарное состояние определяется не только концентрацией углеводорода и скоростями образования и распада перекисных соединений, но и скоростями этих снижающих скорость окисления процессов.

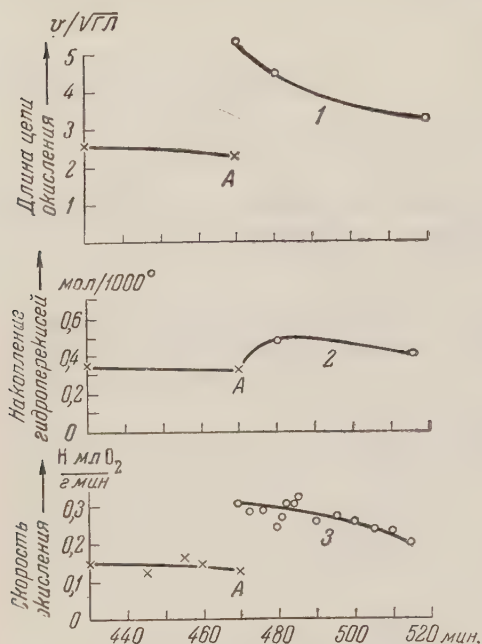


Рис. 3. Влияние удаления нижнего (кислотного) слоя на окисление цетана; нижний слой удалялся в точке А; 1 — изменение длины кинетической цепи, 2 — изменение концентрации гидроперекисных соединений, 3 — изменение скорости поглощения кислорода

жестко окисления (рис. 1, 4). Удаление из реакционного сосуда нижнего слоя на стационарном участке приводит к резкому увеличению скорости окисления, сопровождающемуся увеличением концентрации перекисных соединений и возрастанием длины кинетической цепи. При дальнейшем окислении по мере накопления нижнего слоя происходит снижение скорости реакции и длины кинетической цепи, а концентрация гидроперекисных соединений проходит через максимум (рис. 3). Аналогичная картина имеет место и при повторном удалении нижнего слоя.

Таким образом, полученные результаты показывают, что снижение скорости реакции при окислении связано с накоплением в системе продуктов, обрывающих реакционные цепи.

С целью выяснения природы реакций, тормозящих окисление цетана, была определена длина кинетической цепи реакции (точнее, пропорциональная ей величина $\frac{v}{V_{rn}}$, где v — скорость поглощения O_2 , V_{rn} — концентрация перекисных соединений). Как видно из рис. 2, величина $\frac{v}{V_{rn}}$ уменьшается в ходе окисления. Снижение длины кинетической цепи при одновременном уменьшении концентрации перекиси (глубина > 25—30%) однозначно указывает на образование в ходе окисления соединений, способных обрывать реакционные цепи.

Известно, что при окислении углеводородов при достаточно большой глубине реакции реакционная система разделяется на два слоя — верхний — углеводородный — и нижний, содержащий спирты, кетоны, альдегиды, кислоты и небольшое количество воды. Добавка к чистому неокисленному цетану верхнего слоя практически не влияет на скорость окисления или даже несколько увеличивает ее (рис. 1, 3); добавка же нижнего слоя заметно снижает скорость окисления (рис. 1, 4).

Б. П. БАРХАТОВ, А. Д. МИКЛУХО-МАКЛАЙ, Е. Ф. РОМАНЬКО и Э. З. ТАИРОВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРМСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРНОГО ПАМИРА

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 9 XII 1958)

Фаунистически охарактеризованные отложения пермской системы имеют преимущественное развитие в северной и юго-восточной структурно-фациальных зонах Памира ⁽¹⁾.

Геолого-съемочные и тематические исследования, проводимые Управлением геологии и охраны недр при Совете Министров СССР и Ленинградским университетом, позволили за последние годы уточнить статиграфию пермских отложений юго-восточного Памира и выявить новые выходы перми в пределах Северной тектонической зоны. Зона Северного Памира ограничена на севере линией регионального Каракульского надвига, известного теперь под названием Момукского; с юга зона также очерчивается крупнейшей полосой разломов.

В восточной части Памира последняя известна под названием Акбай-тальской зоны чешуйчатых надвигов. Именно по ней следует проводить границу между Куэнь-луньской и Каракорумской структурно-фациальными зонами этой части геосинклинального пояса Тетиса ⁽¹⁾.

Указанный важный структурный шов отделяет на Памире мозаично построенную Центральную зону от области развития однообразных мощных терригенных отложений Северного Памира, выделенных впервые Д. В. Наливкиным еще в 1916 г. под названием Северной метаморфической зоны и известной теперь под названием Дарваз-Сарыкольской структурно-фациальной подзоны ⁽¹⁾. В сложении ее участвует комплекс пород, возраст которых из-за значительного метаморфизма и отсутствия органических остатков оценивался до последнего времени в широких возрастных пределах — от нижнего до верхнего палеозоя включительно ^(4,5).

Не вдаваясь в историю исследования пород этого комплекса, укажем только, что в одних районах входящие в него породы относились к нижнему палеозою (район к северу от оз. Ранг-Куль), а в других (Южный склон Дарваза) — к среднему и верхнему палеозою. Последние годы геологическими работами в пределах Северного Памира были затронуты Рангульская котловина, верховье р. Кокуй-бельсу, бассейны рр. Кара-джилга, Ак-джилга, Сев. Ак-байтал, а также правобережье р. Ванч и некоторые районы Дарваза.

В результате наметились некоторые сдвиги в расшифровке структуры и стратиграфии Дарваз-Сарыкольского комплекса, сущность которых мы попытались изложить в предлагаемом очерке. В альпийской складчатой структуре всего Памира северная зона, учитывая наличие мезо-кайнозойского обрамления, выступает как огромный антиклинорий. В его пределах намечается несколько складчатых структурных единиц первого порядка.

С севера — это Сауксайско-Курговадский антиклинал, Каракульский синклинал, Сарыкольский антиклинал, Рангульский синклинал и Ишибулакский антиклинал. Наиболее отчетливо указанные структуры выражены в восточной части Северного Памира.

Дарвазе, к северу от Сауксайского антиклинала, намечается еще две новые структуры: это Хориджский синклинал и Сафеткухский антиклинал (Н. Г. Власов, 1958).

До последнего времени фаунистически охарактеризованные пермские отложения были известны в Дарвазе, восточнее—по крыльям Сауксайского антиклинала и в ядре Каракульского синклинала.

Наибольшей мощности (до 4,5 км) пермские отложения, по данным П. Д. Виноградова и А. П. Марковского, достигают в южном крыле Сауксайской складки. Здесь нижнюю часть разреза составляет мощная песчано-сланцевая «белеулинская» свита М. И. Шабалкина, на ней залегает свита фиолетовых и зеленых песчаников, сланцев, конгломератов и туфов, мощностью

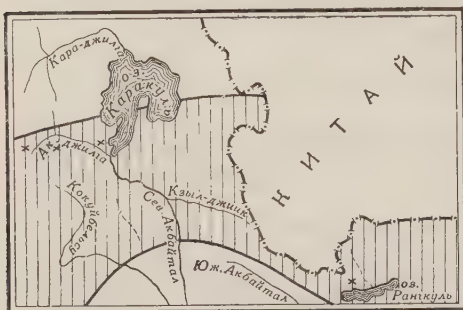


Рис. 1. Схема района. Заштрихована зона распространения Дарваз-Сарыкольского комплекса. Места сбора нижнепермской фации отмечены крестами

более 2000 м. Еще выше располагается сланцево-известняковая свита с кораллами, брахиоподами и аммонейми нижней перми. Заканчивается разрез верхнепермской известняково-сланцевой свитой (более 1200 м), с фузулинидами, мшанками, кораллами и др. Весь комплекс пород, участвующий в строении расположенных южнее Сарыкольской, Рангульской и Ишбулакской складок, не содержит внутри себя заметных несогласий и отличается в целом, по сравнению с отложениями северной части зоны, несколько большим региональным метаморфизмом. Характерно крутое залегание пород и довольно резкие фациальные изменения отложений как по простиранию, так и вкрест его.

В составе комплекса преобладают разнообразные метаморфические сланцы, превращенные вблизи интрузий в кристаллические сланцы и даже гнейсы. Существенную роль играют породы, образованные за счет рассланцованных эффузивов, а также кварцитовидные песчаники и линзы мраморизованных известняков; реже встречаются туфо-конгломераты и конгломераты.

Общей особенностью комплекса является флишиоидный характер отложений, весьма отчетливо проявляющийся в ядре Рангульского синклинала. Сарыкольский антиклинал несколько опрокинут на юг; в осевой части он во многих местах прорван гранитами. В сложении его участвуют преимущественно сланцы с линзами мраморизованных известняков и эффузивов.

В северном крыле антиклинала, осложненном складками высших порядков и интрузиями гранитов, у южного конца оз. Каракуль, по обоим склонам долины р. Ак-джилга и в ее верховье, летом 1958 г. авторами были собраны органогенные известняки с водорослями, криноидеями, кораллами-ругозами, гониатитами, пелециподами и фораминиферами (рис. 1).

По правому склону долины р. Ак-джилга в периферических частях линз мраморизованных известняков и в небольшой линзе известняков, залегающих среди зеленых метаморфических сланцев были найдены криноидеи, которые, по определению Р. С. Елтышевой, близки к *Cyclocyclicus kojumensis* sp. n., известной из нижней перми Печорского бассейна. Из известняков левого склона р. Ак-джилги определены *Cyclocyclicus ex. gr. ligatus* sp. n. и *Cyclocyclicus cf. vaengaensis* sp. n., указывающие на верхнюю пермь.

Вместе с тем из этих же известняков собраны фораминиферы, ругозы, пелециподы и неясные отпечатки гониатитов.

Фораминиферы заключены в обломочных, несколько перекристаллизованных известняках, содержащих небольшую примесь терригенного материала.

По определению А. Д. Миклухо-Маклая, присутствуют следующие формы: *Capidulina* sp., *Plectogyra* sp., *Pseudofusulina ex. gr. vulgaris* Schelhw.

1304

et Dyhr., *Pseudofusulina* cf. *koerimizenzis* Ozawa, *Globivalvulina* *graeca* Reichel и водоросли *Tubiphites* sp. Возраст их, скорее всего, судя по остаткам псевдофузулин,—нижнепермский (Дарвазский ярус).

В верховье р. Ак-джилга, по ее притоку Сары-гун, встречены криноидеи, имеющие, по мнению Р. С. Елтышевой, карбоновый облик.

Отсутствие угловых несогласий, в общем единообразный метаморфизм, литологический состав, а также указанная выше фауна, найденная в различных по простиранию горизонтах, позволяют с достаточным основанием заключить, что мощные толщи пород, слагающие Сарыкольский антиклинал, относятся большей своей частью к нижней перми.

Расположенный южнее Рангульский синклинал построен мощной толщей различных метаморфических сланцев с пачками известняков. В последних по р. Сев. Ак-байтал, в устье р. Қзыл-джиик и западнее были встречены многочисленные криноидеи, которые, однако, не удалось достаточно точно определить. Вместе с тем сходство заключающих их пород с вышеописанной толщей очевидно. Ишибулакский антиклинал, прослеженный теперь от Ранг-куля до устья р. Зор-ташкол, сложен породами, характерной составной частью которых являются кварцитовидные песчаники и эффузивы, переслаивающиеся со сланцами и включающие линзы и пачки мраморизованных известняков.

По южному крылу антиклинали, к северу от оз. Шор-куль, в 1958 г. Б. Р. Пашковым, М. С. Дюфур и Г. Г. Мельником были найдены крупные, но плохой сохранности нижнепермские фораминиферы. В то же время по северному крылу антиклинали в хорошо выдержанном, но маломощном горизонте известняков были найдены криноидеи, которые, по определению Р. С. Елтышевой, относятся к среднему девону (эйфельский ярус).

Указанные факты не дают, таким образом, оснований для окончательного заключения о возрасте пород, участвующих в строении описываемой складки; среди них могут присутствовать отложения от среднего до верхнего палеозоя включительно.

Ишибулакская, Рангульская и Сарыкольская складки сложены породами, имеющими западнее развитие на южных склонах Дарваза, вследствие чего последние также большей своей частью, по-видимому, относятся к верхнему палеозою.

Рекогносцировочные исследования, проведенные нами в бассейне р. Кара-джилга, относящемся к Қалайхумб-Каракульской тектонической подзоне (1), позволили уточнить статиграфическое положение части развитых там пермских отложений.

По левому склону р. Кара-джилга, выше устья р. Бойгашка, описан разрез верхней перми, представленный известняками общей мощностью ~1000 м. В низах преобладают светлые мраморизованные известняки, в верхних залегают органогенные водорослево-фораминиферовые известняки с маломощными линзами конгломератов.

В нижней половине разреза, по определению А. Д. Миклухо-Маклая, присутствуют *Tetrataxis lata* Spandel, T. cf. *millsapensis* Cushman et Wathers, *Nodosaria* sp., *Geinitzina* cf. *inflata* K. M.-Maclay, *Colaniella* sp., *Hemijordius* aff. *renzi* Reichel, *Pisolina* sp., *Pseudofusulina* sp., *Neoschwagerina* sp. Присутствие в перечисленном комплексе коланиелл и неошвагерин позволяет относить заключающие их слои к мургабскому ярусу верхней перми.

В верхней половине разреза определены *Globivalvulina* sp., *Pelaeotextularia* sp., *Climacammina* sp., *Tetrataxis* sp., *Pachyphloia* sp., *P. solida* K. M.-Maclay, *Geinitzina* sp., *Rectoglandulina* aff. *pygmaeiformis* M.-Maclay, *Hemijordius* cf. *renzi* Reichel, *Kahlerina pachyphoca* Kochansky-Dev., *Kahlerina* sp., *Pseudofusulina* sp., *Eoverbeekina* sp., *Paraverbeekina* cf. *pontica* M.-Maclay, *Neoschwagerina* cf. *margaritae* Deprat, *Neoschwagerina* sp. и водоросли—*Gymnocodium bellerophonitis* (Rothpletz), *G. plumosus* Elliot, *Gymnocodium* sp., *Permocalculus fragilis* (Pia), *Permocalculus* sp., *Indopolia* sp., *Acicularia* sp.

Совокупность перечисленных фораминифер и водорослей свидетельствует о более высоком стратиграфическом уровне вмещающих образований — о верхней половине мургабского яруса. В этих же отложениях собраны, но не определены кораллы, криноидеи и моллюски. Наличие в описанном мощном разрезе отложений лишь мургабского яруса заставляет предположить большую мощность верхней перми в этой части Памира, нежели принимали ранее.

При рекогносцировочном изучении «фиолетовой» свиты М. И. Шабалкина по р. Кок-сай и левому склону р. Кара-джилга в известняковой гальке конгломератов была обнаружена многочисленная микрофауна. По определению А. Д. Миклухо-Маклая, встречены следующие формы: *Pseudofusulina* ex. gr. *krafftii* Schellw. et Dyhr., *Pseudofusulina* sp. cf. *mengi* Chen, *Pseudofusulina* sp., *Misellina* cf. *ovalis* Deprat. Судя по этим фораминиферам, обломки известняков происходят из дарвазского яруса. Кроме того, обнаружены *Pseudofusulina* sp., *Paraverbeekina sphaera* (Ozawa), *P.* sp., *Armenina* sp., *Neoschwagerina* sp. Этот комплекс наиболее характерен для нижних горизонтов мургабского яруса верхней перми.

В целом фауна и флора изученного района весьма типична для Кавказской биогеографической области (², ³).

Указанные факты заставляют пересмотреть стратиграфическое положение «фиолетовой» свиты, относившейся ранее М. И. Шабалкиным к средней части нижней перми. Очевидно, «фиолетовая» свита, содержащая в гальке фауну верхней перми, должна занимать более высокое стратиграфическое положение; не исключена вероятность мезозойского (юрского или даже мелового) возраста этих отложений. Обнаружение в породах северной метаморфической зоны Памира в ряде мест нижнепермской фауны указывает на единство геологического развития всей северной зоны, по крайней мере до верхней перми. Отчетливо намечается для Памира южная граница максимальных прогибаний в верхнем палеозое; она совпадает с южным рубежом Дарваз-Сарыкольской подзоны.

История развития северной ветви Памирской геосинклинали в верхнем палеозое приобретает большую определенность.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
2 XII 1958

Управление геологии и охраны недр
при Совете Министров ТаджССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. П. Бархатов, Схема структурно-тектонического районирования Памира, Уч. зап. Ленингр. гос. ун-в., № 268, в. 10 (1959). ² Г. С. Поршняков, А. Д. Миклухо-Маклай, Уч. зап. Ленингр. гос. ун-в., № 189, сер. геол., в. 6, 21 (1955). ³ А. Д. Миклухо-Маклай, ДАН, 120, № 1 (1958). ⁴ Д. В. Наливкин, Тектоника Памира, Тр. XVII Межд. геол. конгр 2, (1939). ⁵ Б. А. Петрушевский, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 8, № 3 (1940).

А. Б. ВИСТЕЛИУС

**К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КРАСНОЦВЕТНОЙ ТОЛЩИ
п-о. ЧЕЛЕКЕН**

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ОБЛОМОЧНЫХ
МИНЕРАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИТОЛОГИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИИ**

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 29 XI 1958)

Для решения вопроса об образовании красноцветных отложений п-о. Челекен нами использован абсолютный возраст минералов, слагающих эту толщу. При этом рассматривались следующие вопросы: а) где следует искать область питания песчано-алевритовым материалом и б) каков способ образования глин (обломочный или диагенетический) и каковы его взаимоотношения с процессом накопления песков и алевритов. При этом под термином глина мы понимаем фракцию частиц размером около $2\ \mu$ и меньше, образованную специфическими минералами глин и выделенную из глинистых слюев. Это необходимо точно оговорить, так как термин глина следует использовать только по отношению к указанной фракции, которая одна имеет специфический способ образования. Что касается породы неопределенного состава и происхождения, называемого в общежитии глина, то она должна называться не глиной, а глинистой породой. Последняя представляет смесь собственно глины с обломочным материалом песчано-алевритовой размерности и цементом сложного происхождения, часто карбонатным.

Определения возраста минералов были произведены* аргоновым методом с контролем состава аргона на масс-спектрометре МС—2М в образцах слюд и глинистой фракции. Слюды выделялись из песчано-алевритовых отложений и пеплов путем их рассева на стандартных ситах, разделения наиболее богатой слюдой фракции на вибрирующей поверхности, и, наконец, чистки концентрата, полученного на вибрирующей поверхности на электромагнитном сепараторе. Указанным путем удалось выделить из песков и алевритов относительно чистую фракцию бесцветных, сравнительно свежих слюд и из пепла биотит, содержавшийся в них в ничтожном количестве. Из глинистых пород фракция выделялась так. Пробу глинистой породы обрабатывали 3% раствором HCl до прекращения шипения, затем отмывали хлор-ион на фильтре, взмучивали суспензию и в течение ночи давали отстояться ей в цилиндре — для осаждения крупной фракции. Фракцию, оставшуюся в суспендированном состоянии, сливали в воронку центрифуги и пропускали дважды через волчок Пономарева. Первое пропускание производилось при 10 000 об/мин с подачей суспензии через отверстие диаметром 2 мм. Полученная фракция удалялась из волчка, суспензия же, прошедшая через волчок, собиралась и снова пропусклась через него при том же числе оборотов с подачей через отверстие диаметром 1 мм. Собранная фракция с диаметром частиц $1\text{—}2\ \mu$ высушивалась и шла на анализ.

* Определения возраста выполнены в Лаборатории геологии докембрия АН СССР под руководством Э. К. Герлинга.

Изучены следующие образцы;

КТ-КБ — бесцветная слюда типа мусковита, выделенная из песков кутубурунского и куртепинского горизонтов красноцветной толщи Челекена. Таблички слюды имеют округлые контуры со следами обработки при переносе.

КТ-π — биотит из вулканического пепла. Представлен свежими, хорошо ограниченными кристаллами таблитчатой формы, без следов изнашивания при переносе. Пепел, из которого выделен биотит, взят из куртепинского горизонта красноцветной толщи Челекена близ сел. Дагаджик. Петрографически и по условиям залегания он тождественен пеплам, описанным М. А. Романовой⁽³⁾ в западной части Челекена.

ХН — светлая слюда, внешне тождественная мусковиту, выделенная из песков современного алювия р. Аму-Дарьи, на отмели близ г. Ходжейли. Слюда относительно свежая, со следами обработки при переносе.

МТ — бесцветная слюда типа мусковита. Образец выделен из верхнемеловых отложений на о. Токмак, на юге Аральского моря. Геологическая обстановка следующая. На юго-востоке острова в береговом обрыве на серые глинистые отложения ложится слой серых песков около 3—4 м, содержащий смесь сеноманских и туронских окаменелостей. Белемниты, по определению Д. М. Найдина, ближе всего стоят к туронскому *Actinocamax intermedius* Arkh. Из большого числа пеллеципод, безусловно определенных В. П. Ренгартеном, на турон могут указывать *Exogyra asiatica* Arkh., *Ex. lateralis* Nils., *Ex. trigeri* Coq., *Ex. olisiponensis* Charpe и *Neithea aequicostata* d'Orb., но преобладают, по-видимому, переотложенные сеноманские формы: *Cucullaea mailleana* d'Orb., *Liostrea rediviva* Coq., *L. baylei* Coq., *Gryphaea biauriculata* Lam., *Alectrionia siphax* Coq., *A. cameleo* Coq., *Exogyra trigeri* Coq., *Serpula gordialis* Schloth. Такое же смешение дают и зубы акул, изученные Л. Гликманом. По мнению В. П. Ренгартена, в туронское время здесь образовался слой песков, главным образом за счет перемывания сеноманских песчаных отложений.

Выше идет мелкогалечный конгломерат, а на нем белые мергели с остатками *Oxythoma tenuicostata* Roem., *Liostrea aculirostris* Nils., *L. oxyrhyncha* Coq., *Exogyra plicifera* Coq., *Inoceramus* ex gr. *glatziae* And., указывающими, по мнению В. П. Ренгартена, на самый верхний сантон. В этих же образцах мергелей Л. В. Атабекян определена следующая микрофауна: *Ataxophragmius orbignyaeformis* Vassilenko, *Arenobulimina preslii* Reuss, *Verneuillina Spiroplectammina* sp., *Hagenovella* sp., *Gaudryina rugosa* d'Orb., *Bolivinita eleyi* Cushman, *Bulimina brevis* d'Orb., *Gyroldina micheliniana* d'Orb., *Stensioina exsculpta* Reuss., *Globotruncana linnei* d'Orb., *Anomalina stelligera* Marie. Приведенная фауна позволяет отнести изученные мергели к зоне с *Pteria tenuicostata* верхнего сенона. Примерно по простиранию слоя конгломератов на северо-западном берегу острова, в обрывах у урочища Капашкум, выходят светлые существенно-кварцевые пески, богатые слюдой. Исходя из геологических соотношений, можно полагать, что эти пески относятся к нижней половине верхнего мела. Изученная слюда образца МТ была выделена из песков последнего типа.

Определение показателей преломления светлых слюд, сконцентрированных из образцов КТ-КБ, ХН и МТ, показало, что для натриевого света они во всех случаях равны на плоскости спайности 1,588.

ГЧ — сводный образец из нескольких глинистых слоев (образцы КП-273, КП-149, П-429 и П-502) из кутубурунского горизонта красноцветной толщи Челекена. Метод отделения исследованной фракции отмечен ранее. На рис. 1 изображены кривые нагревания (а) и обезвоживания (б) изученной фракции. Приведенные данные показывают, что мы имеем дело с фракцией, в основном сложенной гидрослюдой. Рентгеноструктурные анализы аналогичных фракций из других образцов показали, что они состоят

из гидрослюд с примесью гидрогетита и иногда небольшого количества глауконита. Обломки полевых шпатов, на что обращалось особое внимание, обнаружены не были.

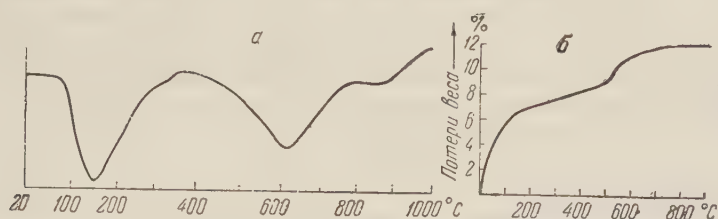


Рис. 1

В табл. 1 приведены результаты определения возраста слюды из описанных образцов. При этом к нашим данным прибавлены данные М. А. Романовой о возрасте мусковита (образец 1-МР) исследованных ею гранитоидов из района г. Красноводска (4).

Таблица 1

Образец	Состав образца	Место отбора образца	K	Ar·10 ⁻³	Возраст, млн. лет
КТ-КБ	Светлая слюда	П.-о. Челекен	0,0643	2,18	82
КТ-П	Биотит из пепла	П.-о. Челекен	0,0424	1,38	78
ХН	Светлая слюда	Аллювий Аму-Дарья	0,0590	2,83	114
МТ	Светлая слюда	О. Токмак	0,0632	6,43	240
ЧК	Глина красноцветной толщи	П.-о. Челекен	0,0372	2,51	160
1-МР	Светлая слюда из гранитоида	Красноводск	0,0598	6,62	250

Данные табл. 1 позволяют сделать следующие выводы.

1. Возраст слюды в меловых отложениях практически совпадает с возрастом ее в гранитоидах Красноводска. По-видимому, каменноугольные интрузии типа описанных М. А. Романовой были широко распространены в Закаспии, из них поступало много обломочного материала, в частности — в меловые отложения. Очень близок к этому же возрасту возраст гидрослюд из глин Челекена. Несколько более молодой возраст их, полученный при исследовании, понятен: он объясняется отчасти потерей аргона при обработке образца при центрифугировании, отчасти незначительной примесью автигенного глауконита. Таким образом, глины красноцветной толщи в основном обломочного происхождения. Они могли возникнуть за счет размыва меловых отложений обрамления красноцветного бассейна.

2. Возраст слюды из песчаных слоев на Челекене не древнее верхнего мела. Для этого возраста получены достаточно хорошо совпадающие цифры для мусковита, подвергшегося обработке в процессе переноса, и для биотита, захороненного в исключительно спокойной обстановке накопления пеплов практически без следов его обработки при переносе. Таким образом, слюды из песков Челекена поступали из области, где могли размываться меловые интрузии или продукты их разрушения. При этом источник приноса слюд из песков принципиально иной, чем источник материала глин. Интересно, что тождественные выводы для продуктивной толщи Апшеронского полуострова были нами получены при анализе коррелограмм последовательностей мощностей слоев, в чем легко убедиться (1, 2).

В настоящее время рано говорить об источнике, давшем материал для песков Челекена, но уже сейчас ясно, что привнос их по Узбою в существующей гидрографической системе невозможен, так как в своих низовьях Аму-Дарья несет в среднем значительно более древние, верхнеюрские, слюды. Таким образом, если материал части песков Челекена происходит из Альпийской геосинклинальной области, то он мог быть снесен с Паропа-

миза или Гиндукуша артерией, не совпадавшей с современной Аму-Дарьей в ее среднем и нижнем течении. Возможны, конечно, и другие источники питания, в частности со среднекаспийской суши ⁽²⁾ или смешанный ⁽⁵⁾.

Изложенное показывает, что первый опыт использования абсолютного возраста минералов для решения задач литологии и палеогеографии оказался весьма перспективным. Работы в указанном направлении продолжаютс^я с привлечением различных минералов (слюды, полевые шпаты, цирконы, возможно, роговые обманки и т. д.).

Лаборатория аэрометодов
Академии наук СССР

Поступило
20 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Б. Вистелиус, ДАН, 65, 4, 535 (1949); Литолог. сб. ВНИГРИ № 3, 61 (1950).
² А. Б. Вистелиус, ДАН, 61, 2, 367 (1950). ³ М. А. Романова, ДАН, 103, 1 (1955). ⁴ М. А. Романова, ДАН, 117, 5, 870 (1957). ⁵ М. А. Романова, Зап. Минерал. общ., 76, 1 (1957).

М. М. ГРАЧЕВСКИЙ

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ
КАМСКО-КИНЬСКОЙ ВПАДИНЫ В КУЙБЫШЕВСКОМ
ЗАВОЛЖЬЕ И ТАТАРИИ**

(Представлено академиком Н. С. Шатским 10 I 1959)

Камско-Киньская впадина ⁽¹⁾ представляет собой сравнительно узкую, но протяженную (порядка 1000 км) полосу распространения мощной терригенной толщи (до 400 м), развитой в Волго-Уральской нефтеносной области, ниже тульского горизонта, и именуемой в Татарии сарайлинской.

Известно три различных толкования происхождений этой впадины: эрозионная или эрозионно-тектоническая гипотеза ⁽¹⁻⁴⁾, тектоническая или инверсионная ^(5, 6) и гипотеза фациального замещения терригенной толщи на бортах впадины карбонатными породами девона и карбона ⁽⁷⁾.

Излагаемые здесь выводы об особенностях строения и формирования Камско-Киньской впадины, к которым мы пришли после изучения стратиграфии терригенной толщи ^(8, 9), опираются на весь имеющийся палеонтологический материал. Они согласуются с представлениями об унаследованности нижнекаменноугольной впадины от верхнедевонского этапа развития этой территории, высказанными впервые М. Ф. Филипповой ⁽¹⁰⁾, и являются дальнейшим развитием этих представлений.

1. Камско-Киньская впадина располагается между поднятиями первого порядка, обрамляя с трех сторон область южного купола Татарского свода. Следовательно, ее формирование должно иметь связь с тектоникой.

2. Суммарная мощность терригенной и подстилающей ее карбонатной толщи от подошвы тульского горизонта до подошвы доманика примерно одинакова во впадине и на ее бортах. Это исключает непосредственное прогибание зоны мощной терригенной толщи, допуская лишь инверсионный его вариант (образование впадины на месте поднятия), которому, однако, противоречат фациальные особенности карбонатной толщи.

3. Карбонатная толща, подстилающая терригенную, отличается в области впадины максимальным стратиграфическим распространением относительно глубоководной доманиковой фации — темноцветных (до черных) кремнисто-битуминозных и глинисто-карбонатных пород с тонкой слоистостью и преобладающим пелагическим сообществом ископаемых организмов: радиолярий, сферопланктонных фораминифер и водорослей, птеропод, остракод-энтомозойд и цефалопод; кроме того, из бентоса характерны скопления спикул губок при отсутствии кораллов.

Сплошное развитие доманиковой фации в осевой части впадины, прослеженное в Татарии и в Куйбышевском Заволжье (Муханово), указывает на стратиграфически полный, хотя и маломощный разрез отложений от кизеловского горизонта верхнего турне до собственно доманика (среднефранский подъярус), что находит все большее палеонтологическое и литолого-геофизическое обоснование. Фациальная однородность и условия отложения этого разреза свидетельствуют против размывов. Аналогичный, стратиграфически полный разрез в доманиковой фации известен в Пермском Приуралье ⁽¹¹⁾.

4. В карбонатной толще площадь распространения доманиковой фации сокращается в стратиграфической последовательности от доманикового горизонта, где эта фация развита на большей части территории Волго-Уральской нефтеносной области, до кизеловского горизонта, в котором она приурочена лишь к осевой части Камско-Кинельской впадины. Соответственно расширяется площадь распространения шельфовых карбонатных фаций: багамитовой⁽¹²⁾, представленной «зернистыми» известняками с богатым донным сообществом ископаемых организмов, и доломитово-эвапоритовой, представленной сульфатизированными доломитами с угнетенной фауной и прослоями ангидрита; обе эти мелководные фации представляют собой светло-окрашенные грубослоистые карбонатные породы, резко отличные по внешнему виду от пород доманикового типа.

5. Наблюдается последовательная возрастная смена палеонтологических комплексов «по горизонтали» от оси впадины к периферии от нижневизейского до нижнефаменского возраста, прослеживаемая от основания терригенной толщи на уровне около 400 м ниже подошвы тульского горизонта.

6. Две последние особенности определяются полосовой, дельтообразной зональностью литолого-стратиграфических комплексов вкрест простирания Камско-Кинельской впадины. Разновозрастные толщи оказываются как бы вложенными одна в другую в стратиграфической последовательности, имея первичные наклоны слоев порядка 6° в узкой полосе перехода от периферических шельфовых фаций к относительно глубоководным центральным. В этой промежуточной зоне склона мощности слоев обычно увеличены относительно шельфовых фаций главным образом за счет глинистых прослоев. Известняки здесь тоже становятся более глинистыми, битуминозными и тонкослоистыми, представляя, очевидно, предрифовые фации. Единая во всех трех седиментационных зонах цикличность позволяет однозначно увязать между собой разрезы этих зон по смене карбонатных пород относительно более глинистыми — при использовании данных электрического каротажа с учетом палеонтологических материалов и фациальных особенностей. При такой увязке обнаруживается значительное изменение мощности стратиграфических подразделений в пределах трех указанных зон. Так, мощность турнейского яруса, включая озерско-хованские слои, составляет на шельфе 170—240 м, на склоне 270—460 м (при наибольшей мощности в районе Пилюгино — Яблоня) и в осевой, глубоководной, части впадины — 60—120 м (минимальные мощности отвечают районам Татарии).

7. Терригенная толща разновозрастна вкрест простирания впадины. Так, в осевой части Камско-Кинельской впадины повсеместно распространена нижневизейская (сталиногорско-малиновская) песчано-глинистая, практически бескарбонатная толща со стяжениями сидерита и очень редкими и тонкими прослойками известняка и доломита. Мощность до 400 м. Ширина полосы 20—100 км (наибольшая — в Куйбышевском Заволжье, между Пилюгино и Бузулуком).

В смежной полосе, вдоль внешнего борта впадины со стороны центральных районов Русской платформы, развита турнейская терригенно-карбонатная свита мощностью до 270 м (при соответствующем сокращении мощности нижневизейской толщи и ширины зоны до 40 км в Прикамье). В ней выделяются две существенно терригенные толщи:

А. Верхнетурнейская толща — карбонатно-глинистая, отделяющаяся от визейской терригенной толщи известняком с кизеловской фауной. Хорошо выражена в Мелекесской опорной скважине. Мощность до 80 м.

Б. Нижнетурнейская толща (подмалевская) — глинистая с подчиненными прослоями карбонатных пород; в нижней части содержит характерную фауну рихтерин; отделяется от верхнетурнейской толщи известняками лихвинского подъяруса. Мощность до 120 м.

Обе эти толщи образуют сопряженные полосы взаимно компенсирующего увеличения мощности, причем полоса мощной верхнетурнейской толщи располагается ближе к осевой части впадины. В Куйбышевском За-

олжье обе турнейские толщи прослеживаются в западных скважинах Мухомовской площади (Репьевка) в виде узкой зоны шириной в несколько километров. К осевой части впадины они последовательно резко сокращаются по мощности, преимущественно за счет глинистого материала, при этом срединия слоев не происходит. Быстрые изменения мощностей объясняются условиями отложения на крутом подводном склоне в застойном бассейне доманикового типа. Нижнетурнейская терригенная толща является стратиграфическим аналогом Джебольской терригенной толщи Ю. Тимана. В Подмоковном бассейне ей, очевидно, соответствует перерыв между озерско-хованскими и малевскими слоями.

8. Судя по закономерностям в распределении доманиковой фации, Камско-Кинельская впадина образовалась в результате постепенного отмирания обширного и относительно глубоководного доманикового бассейна и превращения его в мелководный эпиконтинентальный бассейн. Причиной этому было образование карбонатных отмелей в мендымское время (самсоновская фация известняков) и последующее формирование аккумуляционного шельфа в условиях относительных колебаний уровня моря. Отмели возникли, вероятно, подобно современным Багамским известняковым отмелям, как атоллы⁽¹³⁾ в области сводовых поднятий, в частности на южном куполе Татарского свода (аналог Большой Багамской банки), а в дальнейшем испытали боковое разрастание в моменты снижения уровня моря или его стабилизации. При подъеме уровня моря (погружении дна бассейна) в области отмелей имело место устойчивое компенсационное накопление мелководных карбонатов. Встречное наращивание карбонатного шельфа — от Средневожского и Токмовского сводов и северного купола Татарского свода, с одной стороны, и от южного купола — с другой — продолжалось в верхнефранский, фаменский и турнейский века. В течение столь длительного периода здесь сохранялась благоприятная обстановка для развития барьерных рифов по внешнему краю шельфа. Так, например, крупные барьерные рифы, очевидно, отделили в верхнефаменское (данково-лебедянское) время глубоководную, нормальную морскую часть бассейна во впадине от обширной мелководной осолоненной области его, где в обстановке замедленного компенсационного погружения формировалась лагунная сульфатно-доломитовая толща. Есть основание связывать наступление карбона с трансгрессией в области шельфа, отмеченной здесь распространением сферических планктонных водорослей и отложением известняков. В турнейский век в формировании «внешнего» борта впадины наряду с карбонатами периодически принимал значительное участие терригенный материал, приносимый сюда из центральных районов Русской платформы. Это указывает на пульсации всей территории и приближение источников сноса. На противоположном борту, со стороны южного купола Татарского свода, принос материала был ограничен, и здесь по внешнему краю растущего шельфа в Куйбышевском Заволжье, в узкой, но протяженной полосе Пилюгино — Надеждино (260 км), формировались мощные и мощные, предположительно рифогенные известняки (один только чернышинский подъярус достигает здесь 230 м мощности) — зона, сходная по своему строению с известным своей нефтеносностью североамериканским термским барьерным рифом Эль Капитан^(14, 15). Сходство состоит в дельтообразном строении вкрест простираения, нависании шельфовых фаций над глубоководными и большой мощности известняков в узкой, протяженной полосе.

9. Осевая, глубоководная, часть Камско-Кинельской впадины была компенсирована в ранневизейское время, до наступления тульского века, регрессивной терригенной толщей с песчаниками и углями в верхней части.

Изложенное позволяет заключить, что Камско-Кинельская впадина, понимаемая как зона распространения мощной терригенной толщи, является по условиям своего формирования аккумуляционно-топографической, а не эрозионной и не тектонической, поскольку не было дифференциации тектонических движений в полосе развития мощной терригенной толщи,

сформировавшейся в результате краевого заполнения впадины. Однако при стирание Камско-Кинельской впадины унаследовано от более широкого тектонического некомпенсированного прогиба позднемендынского времени. Непосредственное отсутствие прямой связи формирования впадины с тектоникой указывает на отражение широтных дислокаций в Куйбышевском Заволжье (Мухановский, 1957). Профиль впадины по секущих Камско-Кинельскую впадину, в изменении суммарной мощности пород от подошвы тульского горизонта до подошвы доманика. Профиль впадины сформирован созидательными, аккумуляционными процессами, по видимому, при участии барьерного рифообразования по внешнему краю разраставшегося шельфа — подобно тому, как это имело место в Пермском бассейне Сев. Америки (14-16). Последнее дает основание предполагать существование в бортах Камско-Кинельской впадины целого ансамбля пологих гребенных барьерных рифов в разных горизонтах турнейско-девонской каменноугольной толщии вплоть до аскыньских слоев и поставить вопрос об их поисках в зонах выклинивания доманиковой фации. Нефтегазоносность этих рифов может представить большой практический интерес.

Московский институт нефтехимической
и газовой промышленности
им. И. М. Губкина

Поступило
5 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. М. Познер, ДАН, 104, № 6 (1955). ² Н. И. Марковский, ДАН, 104, № 4 (1955). ³ В. М. Познер, Тр. ВНИГРИ, в. 112 (1957). ⁴ В. Н. Тихий, Тр. ВНИГРИ, в. 106 (1957). ⁵ Р. О. Хачатрян, Тектоника и нефтеносность Куйбышевского Заволжья, М., 1957. ⁶ В. И. Тропольский, Уч. зап. Казан. ун-та, 117, кн. 2, в. 2 (1957). ⁷ А. И. Клещев, В. А. Киров, В. В. Петров, Р. О. Павловский, Геол. нефти, № 12 (1957). ⁸ М. М. Грачевский, ДАН, 114, № 5 (1957). ⁹ М. М. Грачевский, ДАН, 120, № 6 (1958). ¹⁰ З. А. Черныш, М. Ф. Филиппова, Геол. нефти, № 4 (1958). ¹¹ Н. Г. Чочина, К. И. Андрианова, Тр. ВНИГРИ, нов. сер., в. № 61 (1952). ¹² F. W. Beesley, Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 49, № 8 (1958). ¹³ N. D. Newell, Geol. Soc. Am. Spec. Paper, 69 (1955). ¹⁴ Ph. B. King, Geology of the Southern Guadalupe Mountains, Texas, Washington, 1948. ¹⁵ Th. A. Link, Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 34, 2 (1950). ¹⁶ D. C. Van Sicle, Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 49, № 8 (1958).

М. А. КАРАСИК

О СВЯЗИ МЕЖДУ РАЗМЕРАМИ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И ГЛАВНЕЙШИМИ ИХ ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 19 XII 1958)

Рудные поля контактово-метасоматических железорудных и меднорудных месторождений Урала и Тургайского прогиба в Зауралье (¹⁻⁶) подразделены нами на шесть групп в зависимости от степени проявления в них трех этапов эндогенной минерализации: I — предскарнового, II — скарнового и III — послескарнового. Каждый из этих этапов характеризуется промышленными концентрациями железа и специфическими парагенезисами минералов и сопутствующих элементов (¹⁻³).

1-я группа. Рудные поля с преобладанием оруденения в предскарновом этапе, сильным его проявлением в скарновом этапе и подчиненным — в послескарновом (тип $I > II > III$). Наиболее типичным представителем этой группы является крупнейшее в мире Качарское рудное поле в Тургайском прогибе. В рудном поле преобладают богатые апатитом ванадий-титанистые железные руды и околорудные скаполитовые породы предскарнового типа. Значительно распространены скарновые магнетитовые руды с гранатом и пироксеном. С послескарновыми образованиями связаны относительно небольшие количества магнетита, ассоциирующиеся с эпидотом, хлоритом, кальцитом и кобальтсодержащим пиритом.

Подобными же свойствами, но с относительно более развитым скарновитым этапом, обладают Соколовское и Сарбайское рудные поля (Тургайский прогиб). По запасам руд они гораздо меньше Качарского, но крупнее любого из рассматриваемых ниже уральских рудных полей. Все эти рудные поля отличаются сильной изменчивостью оруденения. Выделяется до семи стадий минерализации (³).

2-я группа. Рудные поля с преобладанием оруденения в скарновом этапе, сильным его проявлением в предскарновом этапе и подчиненным — в послескарновом (тип $1 < 2 \approx 3$). Это наиболее крупные на Среднем Урале Тагильское и Кушвинское рудные поля. В первом из них находится 19, а во втором 7 промышленных месторождений, включающих от одного до 5—6 типов руд. В пределах каждого рудного поля известно по 8—10 типов руд, перечисляемых ниже в порядке количественного их распространения (табл. 1).

Между двумя «полярными» типами руд (предскарновыми ванадий-титанистыми железными и послескарновыми сернистыми медными), локализованными в периферических зонах рудных полей, состав главной массы железных руд изменяется от марганцовистых до сернисто-кобальтистых и медистых. Такая изменчивость оруденения наблюдается на протяжении около 12 км с севера на юг в Тагильском рудном поле и 18—20 км с юга на север — в Кушвинском. Апатит, халькопирит, железный блеск и отчасти пирит находятся преимущественно в верхних участках рудных полей, а магнетит и пирротин в нижних. Наряду с геологическими факторами это обусловлено влиянием режима кислорода и серы в процессе рудообразования (⁷).

Типы руд	Главнейшие рудообразующие минералы	Этапы минерализации
1. Сернисто-кислородистые железные	Магнетит, гроссуляр-андрадит, диопсид-геденбергит, пирит, халькопирит, хлорит, кальцит	Скарновый и послескарновый
2. Сернисто-кобальтистые железные	Те же, но с отсутствием или малым количеством халькопирита	Скарновый и послескарновый
3. Марганцовистые железные	Магнетит, гроссуляр-андрадит, эпидот	Скарновый
4. Ванадий-титанистые железные	Магнетит, скаполит, ортоклаз, диопсид, апатит	Послескарновый
5. Редкоземельно-фосфористые железные	Магнетит, скаполит, диопсид, гроссуляр-андрадит, апатит	Послескарновый и скарновый
6. Редкоземельно-фосфористо-медистые железные	Магнетит, халькопирит, пирит, гроссуляр-андрадит, диопсид-геденбергит, апатит, кальцит	Скарновый и послескарновый
7. Железные	Магнетит, эпидот, гранат	Скарновый и послескарновый
8. Сернистые медные	Халькопирит, эпидот, гранат	Послескарновый
9. Марганцевые	Бустамит, гранат, диопсид	Скарновый
10. Железистые марганцевые	Гаусманит, браунит, родохрозит, гематит	Скарновый
11. Руды бора	Аксинит, гранат, волластонит, карбонаты	Скарновый

3-я группа. Рудные поля с преобладанием оруденения в скарновом этапе и подчиненном его развитии в послескарновом (тип II>III). К этому типу относятся Теченское рудное поле на Южном Урале, Второе Северное, Третье Северное, Покровское и Масловское на Северном Урале, а также Магнитогорское рудное поле в прежних его границах⁽⁸⁾. В пределах каждого из этих рудных полей встречаются не более одного-двух месторождений и двух типов руд. Распространены сернисто-кобальтистые железные руды и железные руды без промышленных содержаний сопутствующих элементов. Изменчивость оруденения выражена слабо. Только в Покровском рудном поле известны мелкие обособления кобальтина и халькопирита. За исключением Магнитогорского, ни в одном из пяти других рудных полей этой группы запасы руд не превышают 30—40 млн. т.

Вне Урала к этой группе можно отнести Дашкесанское рудное поле (Закавказье), отличающееся, однако, резким пространственным обособлением послескарновых сульфидно-кобальтовых месторождений от скарновых магнетитовых^(9,10).

4-я группа. Рудные поля с примерно одинаковым количественным проявлением оруденения в скарновом и послескарновом этапах (тип II≈III). Примером этого типа служит Ауэрбаховско-Турьинское рудное поле. Оно вытянуто в меридиональном направлении на протяжении около 18 км; в его пределах располагается свыше 20 месторождений^(4,5). Состав главной массы эндогенных руд изменяется с юга на север от кобальтистых железных пирит- и пирротин-магнетитовых, далее — медных халькопирит-пирротин-овых, медных халькопирит-пиритовых и, наконец, сфалерит-халькопиритовых.

5-я группа. Рудные поля с преобладанием магнетитового оруденения в послескарновом этапе и небольшим его проявлении в скарновом (тип II<III). Примерами служит одно рудное поле на Северном Урале (Первое Северное) и два — на Южном Урале (Канакайское и Маскайское). Запасы железных руд в каждом из них не превышают 3—5 млн. т. Железные

руды с низким содержанием сульфидов и элементов-примесей сопровождаются главным образом водными силикатами — роговой обманкой, эпидотом, хлоритом и др. К этому типу, по-видимому, относятся небольшие рудные поля южно-сибирских контактово-метасоматических железорудных месторождений⁽¹¹⁾.

6-я группа. Рудные поля с преобладанием сульфидного оруденения в послескарновом этапе и небольшом его проявлении в скарновом (тип I<IIIc). В Гумешевском рудном поле, представляющем этот тип, известно около 15 халькопирит-пиритовых рудных тел. Халькопирит локализуется преимущественно в верхних частях рудных залежей, а пирит и единичные маломощные залежи магнетита среди сульфидов — в нижних⁽⁶⁾.

Вышеприведенные данные показывают наличие прямой связи между степенью разнообразия состава и изменчивости оруденения в пределах рудных полей рассмотренного генетического типа и их размерами. Группы (типы) рудных полей по степени проявления оруденения в главнейшие этапы минерализации поразительно совпадают с группами их по порядку размеров запасов руд. Именно рудные поля с наиболее развитым предскарновым (скаполитовым) этапом минерализации обладают наибольшими по сравнению с другими типами запасами руд (от нескольких сот миллионов до более чем тысячи миллионов тонн); поля с господствующим скарновым этапом минерализации занимают в отношении запасов промежуточное место (десятки и первые сотни миллионов тонн руды).

Единство генетической связи месторождений магнетитовых, сульфидных, сульфоарсенидных, силикатных, карбонатных, боратных и сульфатных руд, встречающихся в рассматриваемых рудных полях, подтверждается особенностями взаимного их расположения и положения относительно главнейших элементов геологической структуры приконтактных зон гранитоидных интрузивов, с которыми эти месторождения ассоциируются. Например, обособленные залежи эндогенных руд марганца встречаются только в тех рудных полях Урала, где этот элемент в рассеянном виде находится в повышенных концентрациях в магнетитовых рудах и прилегающих спенитах. При этом вблизи Гороблагодатского месторождения, с его предскарновыми оспенными рудами, расположено относительно высокотемпературное Казанское месторождение бустамита (Кушвинское рудное поле); более низкотемпературное Сапальское месторождение браунит-гаусманитовых руд с гематитом и галенигом тяготеет к Лебяжинскому месторождению скарновых магнетитовых руд (Тагильское рудное поле). Высокие концентрации кобальта в рассеянном виде наблюдаются в участках рудных полей с максимальным количеством железа одновременно в виде магнетита, пирита и нерудных минералов. Наоборот, в Дашкесанском и Покровском рудных полях, с обособленными залежами сульфоарсенидов кобальта, содержание кобальта в указанных минералах незначительно.

Характерно также, что важнейшие сопутствующие железу элементы (сера, кобальт, никель, медь, цинк, золото, серебро, селен, теллур, отчасти мышьяк, свинец) связаны с послескарновым этапом минерализации, но распространены также в рудных полях с преобладанием скарнового этапа. С продуктами скарнового этапа часто связан марганец, реже фосфор и редкие земли, кобальт, цинк, галлий, обособления бора в виде борсиликатов; магний, титан, ванадий, фосфор, редкие земли, хлор и фтор обычно сопровождают послескарновые руды.

Более сложному по составу и дифференцированному оруденению в крупных рудных полях соответствует и более сложный состав ассоциирующихся с ними интрузивов, с преобладанием кислых и богатых щелочами пород. Так, наиболее крупные рудные поля 1-й и 2-й групп по нашей классификации связаны пространственно с хорошо дифференцированными интрузивами, сложенными богатыми щелочами сиенитами, сиенит-диоритами, а также диоритами и габбро⁽³⁾; рудные поля 3-й и 4-й групп — с массивами гранитов, гранодиоритов, с подчиненным развитием диоритов и габбро; рудные поля

5-й и 6-й групп ассоциируются обычно с небольшими массивами габбро-диоритов, диабазов и диоритов.

Крупные рудные поля сопровождаются более крупными дорудными складчатыми и разрывными нарушениями, при резко секущих контактах рудовмещающих толщ с интрузивами ^(1,3).

Установленные таким образом закономерные связи между геохимическими и геологическими особенностями рудных полей в пределах специфических для них металлогенических провинций могут способствовать более глубокому познанию явлений рудообразования, объединенных академиком А.Е.Ферсманом в понятия геохимических концентров и геохимического градиента ⁽¹²⁾. В частности, характерный для рассматриваемых рудных полей комплекс привнесенных химических элементов, изменчивость оруденения по отношению к гранитоидным массивам и дорудным тектоническим нарушениям в их приконтактных зонах, при наличии промышленных рудных тел в краевых участках этих массивов (Тагил-Кушвинский район) — все это указывает на генетическую связь рудных полей с более глубокими очагами основной магмы. На принадлежность ассоциирующихся с контактово-метасоматическими железорудными месторождениями гранитов и сиенитов к дифференциатам основной (габброидной) магмы указывают также петрологические и геофизические данные ^(3,8,13).

Рассмотренные здесь закономерности могут быть использованы для перспективной оценки отдельных рудных полей, особенно в случае выявления несоответствия между их размерами и местом в вышеприведенном подразделении на группы. В качестве единственного примера такого несоответствия в пределах Урала служит Магнитогорское рудное поле ⁽⁸⁾.

Институт минеральных ресурсов
Академии наук УССР

Поступило
25 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Карасик, ДАН, 97, № 1 (1954). ² М. А. Карасик, Сборн. Железорудная база Тагил-Кушвинского пром. района, Изд. Уральск. фил. АН СССР (1957). ³ Г. А. Соколов, Железорудная база черной металлургии СССР, изд. АН СССР, 1957. ⁴ Д. С. Коржинский, Тр. ИГН АН СССР, в. 68 (1948). ⁵ Л. Н. Очинников, Тр. ГГИ Уральск. фил. АН СССР, в. 15 (1948). ⁶ С. Н. Иванов, Сов. геол., № 2 (1941). ⁷ Г. А. Бетехтин, Изв. АН СССР, сер. геол., 5 (1952). ⁸ М. А. Карасик, В. А. Бугайло, Тр. ГГИ Уральск. фил. АН СССР, в. 30, сборн. № 2, 1957. ⁹ Г. А. Крутов, Тр. Моск. геологоразв. инст., в. 10 (1937). ¹⁰ М. А. Карасик, ДАН, 32, № 6 (1941). ¹¹ В. В. Богацкий, Разв. и охр. недр, № 11 (1957). ¹² А. Е. Ферсман, Геохимия, 2, 1934. ¹³ Ю. А. Кузнецов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1955).

Н. А. КРЫЛОВ, А. И. ЛЕТАВИН и Я. П. МАЛОВИЦКИЙ

О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ПРЕДКАВКАЗЬЯ И ЮЖНОЙ ОКРАИНЫ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 16 XII 1958)

Благодаря буровым работам, проведенным в Предкавказье и на южной окраине Русской платформы, установлено (^{3,6}), что в пределах юга Европейской части СССР развита эпигерцинская Предкавказская платформа, имеющая более молодое складчатое основание, чем допалеозойская Русская. Граница между этими двумя геоструктурными зонами проходит по линии, совпадающей с серией разрывных нарушений, ограничивающих с севера складчатость Донбасса (⁹). Далее на восток, в районах, примыкающих к Прикаспийской впадине, сочленение последней с герцинской складчатой зоной, видимо, происходит не так резко. Здесь вероятно наличие предгорного прогиба (^{2,8}).

Для выяснения основных тенденций развития Предкавказья, а также смежной с последним части Русской платформы авторами были составлены схема преимущественного развития стратиграфических комплексов палеозоя и схематическая карта трансгрессивных налеганий мезозойского комплекса. Совмещение карт (рис. 1) позволило сделать ряд выводов о некоторых важных чертах геологического развития этой территории и подметить зависимость погружений мезозойского этапа от тектонических тенденций герцинского цикла.

Методика построения схемы преимущественного развития стратиграфических комплексов палеозоя аналогична построению обычной палеогеологической карты — с той лишь разницей, что за недостатком данных авторы вынуждены были до предела схематизировать эти построения и показать только преимущественное развитие основных стратиграфических комплексов, отказавшись от их детализации. Определение возраста пород фундамента в Предкавказье произведено по редким находкам фауны, спор и по сравнительной литологической характеристике. Эта схема отражает тектонический план конца герцинского этапа развития.

На карте трансгрессивных налеганий показаны наиболее древние отложения платформенного мезозойского чехла, залегающие на фундаменте. Эта карта наглядно отражает последовательность вовлечения отдельных участков в общие фиксированные погружения в платформенный этап развития территории. Метод трансгрессивных налеганий по своему принципу близок к палеогеографическому методу, примененному впервые для изучения колебательных движений в пределах платформ А. П. Карпинским (⁴).

Обратимся к рассмотрению этих карт. В строении домезозойского комплекса принимают участие породы от архея до пермотриаса. Последний, по данным бурения в Астраханской и южной части Сталинградской обл. протягивается в виде четко ограниченной с юга полосы, языком вдающейся на запад. В Предкавказье в последнее время был обнаружен переходный тектонический комплекс, представленный красноцветами пермотриасового возраста. Этот комплекс отражает собой переходный этап в геологическом развитии. Характер его распространения сложен и

полностью не выяснен. Поэтому при составлении обеих карт в Предкавказье он не учтен. В пределах южной окраины Русской платформы пермский триас является комплексом, естественно завершающим герцинский этап развития, и поэтому рассматривается совместно с нижним тектоническим этажом.

В пределах Восточного Предкавказья преимущественно распространены отложения верхнего карбона, вскрытые скважинами в Олейниковке

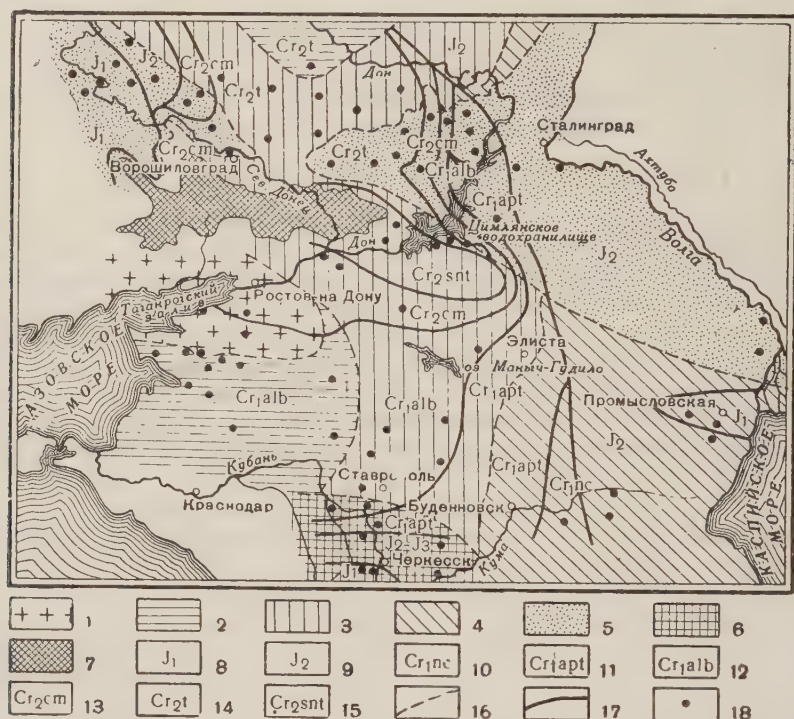


Рис. 1. Палеогеологическая схема домезозойской поверхности и схематическая карта трансгрессивных налеганий мезозойского комплекса Предкавказья и южной окраины Русской платформы. Палеогеологическая схема: 1 — кристаллические породы докембрия, 2 — преимущественное развитие нижнего карбона, 3 — преимущественное развитие среднего карбона, 4 — преимущественное развитие верхнего карбона, 5 — отложения пермо-триаса, 6 — область разновозрастного герцинского фундамента (верхний девон — средний карбон), 7 — обнаженный Донбасс. Трансгрессивные налегания отложений: 8 — нижнеюрских, 9 — среднеюрских, 10 — неокомских, 11 — аптских, 12 — альбских, 13 — сеноманских, 14 — турон-коньякских, 15 — сантонских, 16 — границы палеозойских комплексов, 17 — границы трансгрессивных налеганий мезозоя, 18 — скважины и разведочные площади

Промысловке, Джанае, Зимней Ставке, Озек-Суате, Ачикулаке. На большей части Центрального Предкавказья на палеогеологической схеме показана полоса среднего карбона. Последний вскрыт скважинами на Северо-Ставропольской, Безопасненской, Сенгилеевской, Петровской площадях, в Ипатовской опорной скважине, а также на Белоглинской разведочной площади. В пределах этой полосы, так же как и в пределах полосы верхнего карбона, не исключается возможность локальных выходов иных по возрасту пород, однако факт преимущественного развития здесь среднекаменноугольных отложений очевиден. В Западном Предкавказье герцинский фундамент сложен преимущественно нижнекаменноугольными отложениями. Последние вскрыты в Ново-Минской, Выселковской, Песчаноконской площадях. На юге Центрального предкавказья фундаментом служат породы, весьма разнообразные по возрасту, — от верхнего девона до среднего, а возможно и верхнего кар-

бона. Недостаток материала не позволяет показать здесь преимущественное развитие какого-либо одного стратиграфического комплекса. Поэтому на этом участке возраст фундамента показан как верхний девон—средний карбон. В северо-западной части Предкавказья под платформенным мезо-кайнозойским чехлом залегают кристаллические породы докембрийского возраста.

Рассмотрение этой карты позволяет сделать некоторые выводы о структурном плане конца герцинского этапа. Прежде всего обращает на себя внимание факт постепенного омоложения фундамента Предкавказья с запада на восток. Действительно, если на западе фундамент представлен докембрийскими образованиями, то в пределах современной Азовско-Кубанской впадины это уже отложения нижнего карбона, на Ставрополье — среднего, а в Прикаспии — верхнего карбона. Примерно аналогичная картина наблюдается и на прилегающей южной части Русской платформы. Как видно на карте (рис. 1), эта смена стратиграфических комплексов имеет довольно четкую линейность субмеридионального простираия. На территории Предкавказья описанная картина может объясняться постепенным воздыманием оси Предкавказских герцинид с востока на запад. На севере, в области южной части допалеозойской платформы, строение каменноугольного этажа четко вырисовывает область Воронежского выступа, в наиболее высокой части которого на подмезозойскую поверхность выходят отложения нижнего, а на склонах — осадки среднего и верхнего карбона.

Обращает внимание и еще одна особенность в строении фундамента Предкавказья: основные стратиграфические комплексы палеозоя распространяются в виде сравнительно широких субмеридиональных полос. Той сложной мозаичной картины в строении фундамента, которая характерна, например, для Урала и его южного продолжения, Казахстанского выступа, Южного Приаралья и других районов герцинской платформы, — здесь не наблюдается. Этот факт может быть истолкован как результат сравнительно слабых проявлений тектогенеза в конце герцинского цикла. На это же указывает и почти полное отсутствие следов интрузивного и эффузивного магматизма в фундаменте. Несмотря на несомненно сильную дислоцированность палеозойского комплекса в Предкавказье, в конце его геосинклинального этапа развития, по-видимому, не существовало ярко выраженных мегантиклинорий и мегасинклинорий, подобных Уралу, Кавказу и т. д. На структурный план конца герцинского цикла сильное влияние оказало развитие крупной субмеридиональной структуры, погружающейся с запада на восток.

Обратимся теперь к карте трансгрессивных налеганий мезозойского комплекса, которая, как уже указывалось, отражает последовательность развития фиксированных нисходящих движений в платформенный этап развития Предкавказья. На востоке, в районе Олейниковской и Промысловской площадей, платформенный комплекс начинается нижнеюрскими (тоар-ааленскими) отложениями. В Астраханской и Джанайской опорных скважинах, в пределах Тинакской разведочной площади нижнеюрские отложения отсутствуют. Это позволяет показать нижнеюрскую трансгрессию в виде языка субширотного простираия в области современного свода восточной части «кряжа Карпинского». На юг, на север и на запад от Промысловской и Олейниковской площадей на породах палеозоя залегают среднеюрские отложения, что установлено бурением в Озек-Суате, Зимней Ставке, Величаевке, Джанае, Тинаках, Каракилях, Астрахани, Разночиновке, Красноармейске и на Верхнебузиновской площади. Граница трансгрессивных налеганий средней юры имеет субмеридиональное простираие. Западнее протягивается полоса трансгрессивных налеганий неокомских отложений, которые залегают на фундаменте на Ачикулакской площади. Далее к западу, в пределах восточной части Центрального Предкавказья, платформенный чехол, по-видимому, начинается аптскими отложениями. Трансгрессивное залегание аптских отложений на пермо-триасе установлено на севере в ряде скважин Цымлянкой и Нижнегнутуевской пло-

шадей. В пределах Центрального и Западного Предкавказья в основании платформенного комплекса, по материалам бурения на Каневской, Ленинградской, Староминской, Н. Щербиновской, Северо-Ставропольской, Сенгилеевской и других площадях и по данным ряда опорных скважин, залегают альбские отложения, которые, огибая Донбасс, в виде сравнительно неширокой полосы протягиваются на север. На западе рассматриваемой территории, вблизи г. Ростова и на окраинах Донбасса, платформенный чехол начинается верхним мелом, его сеноманским, турон-коньякским и сантонским ярусами, сменяющимися друг друга в направлении на запад и северо-запад. На юге Центрального Предкавказья, в пределах Невинномысской антиклинальной зоны, Беломечетского прогиба и северной моноклинали Большого Кавказа, на территории, совпадающей с полосой развития разнородного по возрасту фундамента, трансгрессивные комплексы имеют отчетливое субширотное (кавказское) простирание.

Попытаемся сделать некоторые выводы из рассматривания этой картины. Нисходящие движения, проявившиеся интенсивно в нижней юре на самом востоке Предкавказья, постепенно распространялись на запад, втягивая в погружение все новые районы. Фронт распространения погружений был, в грубых чертах, субмеридиональным. Следовательно, в развитии колебательных движений в пределах платформы мезозое влияние жизни Кавказской альпийской геосинклинали не было определяющим (за исключением самых южных районов), по крайней мере до альбского времени. Решающее значение имели, по-видимому, интенсивные меридиональные опускания в обширной Каспийской (Восточно-Русской, по Н. С. Шатскому ⁽⁷⁾) зоне, которые приводили к формированию здесь субмеридиональных структур. На большое значение их в тектонике Предкавказья и Большого Кавказа указано в работах М. Ф. Мирчинка ⁽⁸⁾ и И. О. Брода и др. ⁽¹⁾.

Сопоставление схем палеогеологической и трансгрессивных налеганий показывает, что на протяжении и герцинского, и мезозойского этапов существенное значение имели субмеридиональные волны колебательных движений. При этом отмечается определенное влияние основных черт герцинского структурного плана на развитие в начале мезозойского этапа: наиболее погруженные в конце палеозоя районы Восточного Предкавказья раньше втягиваются в погружение и захватываются трансгрессией уже в юрское время. Районы Западного Предкавказья, наиболее приподнятые в конце палеозоя, были втянуты в погружения лишь в конце нижнего — начале верхнего мела. Эти крупные меридиональные опускания захватили и Предкавказье, и смежную с ним южную часть Русской платформы.

Все приведенные данные подтвердили известное предположение Н. С. Шатского ⁽⁷⁾ о наличии в Предкавказье и южной окраине Русской платформы огромной антикавказской структуры, охватившей различные тектонические зоны, подтвердили древность ее заложения и показали наличие преемственности основных закономерностей тектонического развития герцинского цикла в мезо-кайнозойском этапе.

Московский институт нефтехимической и
газовой промышленности

Поступило
13 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. О. Брод, Л. А. Польстер, Д. В. Несмеянов, Приложение к Геол. нефти, № 8 (1958). ² М. П. Казаков, Ю. М. Васильев, В. Я. Широков, Тр. Моск. нефт. инст. им. И. М. Губкина, в. 22 (1958). ³ А. В. Копелиович, И. Ю. Лапки, Л. С. Темин, ДАН, 105, № 3 (1955). ⁴ А. П. Карпинский, Изв. Академии наук, № 1 (1894). ⁵ М. В. Муратов, Сов. геол., сборн. № 48 (1955). ⁶ М. Ф. Мирчинк, Приложение к Геол. нефти, № 8 (1958). ⁷ Н. С. Шатский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 5 (1948). ⁸ А. В. Копелиович, Я. С. Эвентов, ДАН, 106, 22 (1956). ⁹ А. Я. Дубинский, Матер. ВСЕГЕИ, нов. сер., в. 14 (1956).

О. А. ЛИПИНА, О. М. МКРТЧЯН и Р. О. ХАЧАТРЯН

**КИЗЕЛОВСКИЙ ГОРИЗОНТ
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БИРСКОЙ СЕДЛОВИНЫ**

(Представлено академиком Н. С. Шатским 16 XII 1958)

Кизеловский горизонт восточной части Русской платформы представлен толщей преимущественно водорослево-фораминиферовых, реже обломочных известняков, перекрытых глинисто-аргиллитовыми породами малиновых слоев (¹). Мощность горизонта в среднем 25 м. Отложения кизеловского горизонта, так же как и нижележащих подразделений турне, обычно хорошо выделяются по керну и кароттажу и без труда прослеживаются на территории востока Русской платформы. Исключением явился нерасчлененный разрез турне и карбонатных отложений верхнего девона юго-западной части Бирской седловины. В результате изучения керна и кароттажного материалов по скважинам юго-западной части этой седловины (Чекмагушевская площадь) нами было установлено, что большая верхняя часть разреза, ранее условно сопоставлявшаяся с полным объемом турне-ского и фаменского ярусов, отвечает только кизеловскому горизонту. Этот горизонт имеет здесь мощность в среднем 250 м, т. е. в десять раз большую, чем в соседних районах.

На Чекмагушевской площади интервал разреза от подошвы средне-франского подъяруса до подошвы терригенных отложений нижнего карбона подразделяется на три неравные по мощности комплекса пород: нижний — карбонатный (120 м), средний — аргиллитово-карбонатный (7—50 м) и верхний — кремнисто-аргиллитово-карбонатный (230—280 м).

По данным фауны фораминифер и остракод верхняя часть нижнего комплекса относится к верхнему девону, точнее — к слоям зоны *Septatourayella rauserae* Lip., но не моложе. В полных разрезах среднего аргиллитово-карбонатного комплекса, в нижней его части, в скважинах №№ 61, 71, 85, были встречены фораминиферы *Paracaligella antropovi* Lip., *Endothyra* ex gr. *communis* Raus., End. cf. *communis* Raus., End. *communis* Raus. forma *regularis* Lip., End. ex gr. *latispiralis* Lip., *Endothyra* sp., *Quasiendothyra kobeifusana* Lip. Среди остракод определена руководящая для озерско-хованских слоев *Ehrydoconcha socialis* (Eichw.). Встречены также водоросли *Rhabdoporella*. Этот комплекс фауны характерен для слоев зоны частой *Endothyra communis* Raus.

В известняках верхней части аргиллитово-карбонатного комплекса, в скважинах №№ 71, 85, соответственно в интервалах глубин 1679—1882 и 1593—1596 м, в керне определены фораминиферы, характерные для черепетского горизонта турне: *Baituganella chernyshinensis* Lip., *Glomospira cordialis* J. et Park., *Glomospirella irregularis* (Moell.), *Ammodiscus planus* (Moell.), forma *minima*, *Chernyshinella glomiformis* Lip., Ch. *glomiformis* Lip. forma *minima*, *Endothyra inflata* Lip., End. *paraucrainica* Lip., *Spiroplectanmina tshernyshinensis* Lip., Sp. *mirabilis* Lip., Sp. *spinosa* Lip.

Мощность черепетского горизонта в разрезах, где была определена фауна, достигает 12 м. При этом в скважине № 71 отложения черепетского горизонта подстилаются породами, содержащими *Eridocconcha socialis*

(Eichw.). Это может указывать на отсутствие нижнетурнейских пород в разрезах некоторых скважин Чекмагушевской площади.

Верхний кремнисто-аргиллитово-карбонатный комплекс относится к кизеловскому горизонту. Этот комплекс охарактеризован кернам неравномерно. Из нижней 100-метровой толщи описываемого комплекса керн отсутствует. Основанием к отнесению указанной толщи к кизеловскому горизонту является ее положение между палеонтологически доказанными отложениями черепетского горизонта и породами, содержащими несомненно кизеловский комплекс фораминифер. Кроме того, в пользу отнесения этой толщи к кизеловскому горизонту говорят данные по электрометрии скважин, фиксирующие резкую границу между черепетскими породами и указанной толщей.

Вышележащая часть описываемого комплекса, мощностью в среднем 150 м, складывается в большинстве разрезов преимущественно известняками с подчиненными прослоями доломитов. Известняки в основном детритусовые, фораминиферовые, мелкокомковатые. Среди них встречаются разности фораминиферо-водорослевых, криноидных, остракодовых известняков. Среди детритуса, кроме того, наблюдаются остатки брахиопод, иглокожих и позвоночных. Цементом известняков служит обычно в различной степени перекристаллизованный кальцит. Известняки прослоями доломитизированные. Доломиты в разрезе мелкозернистые и, как правило, сульфатизированы ангидритом. Таким образом, несмотря на повышенные мощности в литологическом отношении известняки кизеловского горизонта юго-западной части Бирской седловины сходны с одновозрастными образованиями других районов востока Русской платформы. Наряду с этим разрез кизеловского горизонта Чекмагуша отличается от ранее известных тем, что в его строении участвуют также кремнисто-аргиллитовые пачки пород. Так, в нижней и средней частях верхнего комплекса кремнисто-аргиллитовые прослои приурочены к узкой, вытянутой с юго-востока на северо-запад полосе, контролируемой Чекмагушевскими разведочными скважинами №№ 79, 66, 30, 67, 7, 82, 8, 23, 22. Мощность этих прослоев достигает 15—20 м.

В верхней части этого комплекса пачки аргиллитов до 25 м мощности прослеживаются в юго-восточной части Чекмагушевской площади в скважинах №№ 5, 15, 105, 110 и др. В описанных выше детритусовых известняках в различных интервалах разреза (скважины: № 71, 1443—1446 м; № 85, 1435—1483 м; № 96, 1482—1497 м) обнаружен следующий комплекс фораминифер кизеловского горизонта: *Vicinisphaera squalida* Antr., *Archaeosphaera crassa* Lip., *Bisphaera irregularis* Bir., *Parathurammina stellata* Lip., *Hyperammina moderata* Mal., *Ammodiscus planus* (Moell.), *A. planus* (Moell.) forma *minima*, *Glomospira goniodialis* J. et Park., *Glomospirella irregularis* (Moell.), *Glomospiranella* cf. *asiatica* Lip., *Tournayella discoidea* Dain, *Tournayellina vulgaris* (?) Lip., *Chernyshinella* cf. *tomulosa* Lip., *Ch. paraglomiformis* Lip., *Ch. cf. glomiformis* (Lip.), *Endothyra* cf. *antiqua* Raus. var. № 1, *End. cf. paraudrainica* Lip., *End. costifera* Lip., *End. inflata* Lip. forma *minima*, *End. spinosa* N. Tchern., *End. tenuiseptata* Lip., *End. ex. gr. tenuiseptata* Lip.

Следует отметить, что в основании описанных известняков комплекс фораминифер несколько обеднен; однако по мере приближения к кровле кизеловского горизонта он как в родовом, так и в видовом отношении становится более богатым.

Кровля кизеловского горизонта представлена тонким чередованием кремнистых и аргиллитовых прослоев, образующих характерную полосчатую пачку пород мощностью в среднем 7—9 м. Присутствие этой пачки во всех без исключения разрезах свидетельствует о постепенном переходе карбонатных пород кизеловского горизонта в вышележащие терригенные образования.

Границы распространения больших мощностей кизеловского горизонта проходят между Бакалами и Чекмагушем на западе, севернее Михайловски

и Каргалинских разведочных скважин на юге и между Дюртюлями и Че́кмагушем (несколько восточнее скважины № 36—Дюртюли) на востоке и северо-востоке. Кизеловский горизонт в разрезе скважины № 36—Дюртюли имеет мощность ~55—60 м, т. е. уже значительно меньшую, чем в более западных Че́кмагушевских скважинах (рис. 1). Данных о распростра-

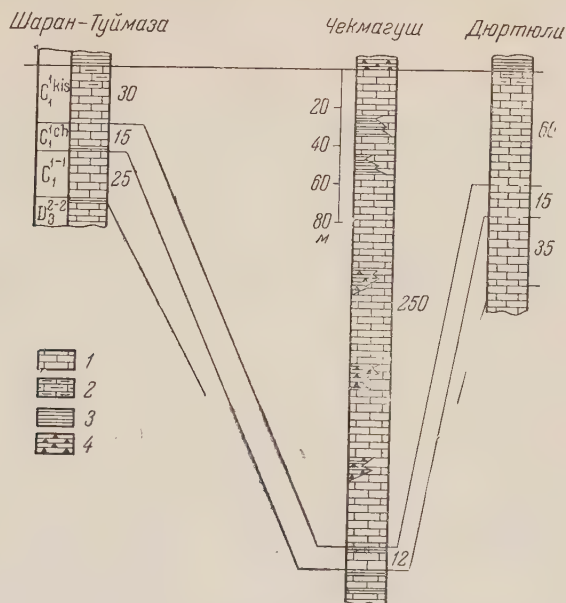


Рис. 1. Схема сопоставления разрезов кизеловского горизонта по линии Шاران—Че́кмагуш—Дюртюли

нении кизеловской толщи на северо-запад нет. Кизеловский горизонт, также аномально большой мощности и близкий к разрезу юго-западной части Бирской седловины, был обнаружен ранее на восточном погружении Средне-Волжского свода и описан по скважине № 18—Пилюгино О. А. Липиной, Н. Д. Покровской, Д. М. Раузер-Черноусовой и Л. Ф. Ростовцевой.

Значительные колебания в мощностях кизеловского горизонта в различных районах восточной части Русской платформы несомненно указывают на резко дифференцированный характер тектонических движений в кизеловское время.

Институт геологии и разработки горючих ископаемых
Академии наук СССР

Институт геологических наук
Академии наук СССР

Поступило
13 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. М. Познер, Т. И. Кирина, Г. С. Порфирьев, Тр. ВНИГРИ, в. 112, Л., 1957.

В. М. СИНИЦЫН

МОНГОЛО-СИБИРСКИЙ АНТИЦИКЛОН И РЕГИОНАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЭОЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 28 XI 1958)

Основным зимним барическим центром Евразии является Монголо-Сибирский максимум, образующийся в связи с чрезвычайно сильным охлаждением и уплотнением воздуха над Восточной Сибирью и Северной Монголией.

К области Монголо-Сибирского максимума приурочено самое высокое на земном шаре давление, достигающее в Иркутске 810 мм. С этим максимумом связана исключительно интенсивная антициклональная циркуляция воздуха (Монголо-Сибирский антициклон), распространяющаяся на всю Внутреннюю Азию и Юго-Восточную Европу.

Формирующиеся на территории Восточной Сибири и Северной Монголии массы плотного, сухого и холодного воздуха в периферических районах приобретают подвижность в направлении областей с более низким давлением. Основной поток антициклона устремляется в Центральную Азию, над пустынями которой воздух особенно прогрет и разрежен. Этот поток сравнительно легко преодолевает невысокий хребет Хангай и восточные отроги Алтая и появляется на равнинах Гоби, подвергая их беспрецедентному иссушению и охлаждению. Дальше на пути движения антициклонального потока оказывается непреодолимая преграда в виде хребтов Куэнь-луня и Наньшаня. Антициклон, представляя плотное и плоское образование, имеет высоту всего лишь 3 тыс. м. тогда как Куэнь-лунь и Наньшань поднимаются своими гребнями до 6000 м и более. Это орографическая преграда вынуждает антициклональный поток отклониться и следовать дальше уже почти в широтном направлении по впадинам 40-й параллели, частью на восток — в Алашань и Ордос, частью на запад — в Таримский бассейн. Весной Монголо-Сибирский антициклон разрушается, а летом над пустынями Центральной Азии воздух сильно прогревается, в результате чего здесь возникает область низкого давления, в которую устремляются потоки влажного воздуха от летних барических максимумов, образующихся над Атлантическим и Тихим океанами. Однако влага этих потоков не достигает Центральной Азии и почти полностью задерживается на внешних склонах ограничивающих ее хребтов Тянь-Шаня, Каракорума, Гималаев и Сино-Тибетских Альп.

Лишенные же влаги массы морского воздуха как только появляются над пустынями Гоби, быстро приобретают свойства местного воздуха. В результате сухой континентальный воздух сохраняется над Центральной Азией на протяжении всего года, сообщая ее климату наивысшую степень аридности.

Поскольку поверхностные воды в Центральной Азии редки и незначительны, процессы денудации на ее территории протекают очень вяло, едва ли не на грани полного замирания. Вместе с тем ветры в Центральной Азии достигают большой силы и частоты и оказываются в состоянии совершать геологическую работу — развевать неуплотненные и слабо цементированные осадки, переметать песок и поднимать тучи лессовой пыли и даже производить коррозию коренных пород. Вследствие того, что ветры в Центральной Азии являются главным агентом денудации и основным транспортирующи-

ом ее продуктов, четвертичный покров этой области в значительной степени состоит из образований эолового происхождения.

Однако из всего многообразия воздушных течений, проходящих над Центральной Азией, достигают большой силы и совершают значительную геологическую работу только потоки, связанные с Монголо-Сибирским антициклоном. Такую исключительную роль в ветровом режиме Центральной Азии Монголо-Сибирский антициклон играл на протяжении значительного времени, о чем можно судить по зональности эоловых отложений той области, отражающей его динамику и структуру.

В пределах Северной Монголии, находящейся в области формирования антициклона, значительного волнения атмосферы не происходит, поэтому эоловые образования в ней отсутствуют. Однако на территории озерных равнин Западной Монголии и Восточно-Гобийской депрессии, лежащих на границе с областью барического максимума, воздушные массы приобретают подвижность, которая, по мере их проникновения в Гобийскую область пониженного давления, все нарастает и уже в пределах Бей-Шаня и смежных с ним участков Джунгарии и Алашаня достигает максимума. Но дальше, в связи с тем, что массы антициклонального потока постепенно приобретают физические свойства местного воздуха, сила порождаемых им ветров ослабевает до незначительной.

В соответствии с такой динамикой Монголо-Сибирского антициклона распределение новейших эоловых отложений Центральной Азии распределяется зонально. В непосредственном соседстве с областью зарождения антициклона, где скорость воздушного потока еще невелика, располагается узкий северный пояс песчаных пустынь, объединяющий сравнительно редкие и мелкие массивы. В следующей зоне, где ветры достигают предельной силы, нередко приобретая характер бурь, простираются обширные каменистые уступы — гаммады. В этой зоне элювиальный покров подвергся наиболее интенсивному перевеванию, в результате которого из него были удалены не только пелитовые, но и псаммитовые составные части, а на месте остались только крупные обломки, слагающие каменистый панцирь гаммад. Воздействию ветра здесь подверглись даже коренные породы, выходы которых обточены песком, влекомым ветром, изрыты нишами, траншеями и отлами выдувания, а в случаях особенно интенсивного развевания усеяны курчавыми скалами, представляющими собой останцы слоев, уничтоженных ветром.

Еще дальше по направлению распространения антициклонального потока находится широкий южный пояс песчаных пустынь, включающий уступы: Такла-Макан, Дзосотын-Элису (Джунгария) и Баданчжаренг (Алашань). В пределах южного пояса антициклональный поток уже успевает в значительной степени разогреться и тем самым приблизиться по физическим свойствам к местному воздуху. Поэтому здесь антициклональный поток уже не справляется с дальним переносом псаммитового материала, который накапливается у мест своего возникновения в огромных количествах. Широкому распространению эоловых песков в южном поясе помимо климатического фактора способствовал еще равнинный рельеф его территории и обширность площадей, занятых рыхлым покровом (аллювием, пролювием и элювием) и слабо цементированными отложениями мезо-кайноэоцена, являющимися для них главными источниками материала.

Песчаные пустыни южного пояса со стороны, подветренной антициклоном, сменяются зоной накопления эоловых лессов, охватывающей северный склон Куэнь-луня, плато Восточной Ганьсу — Северной Шенси, предгорья Инь-линя и хр. Люлян. В ней антициклональная циркуляция атмосферы ослабевает настолько, что развевание становится невозможным, а лессовая пыль, принесенная из каменистых и песчаных пустынь, не удерживается в воздухе и оседает на земную поверхность.

В строении эолового покрова Центральной Азии получила отражение также структура Монголо-Сибирского антициклона, распадающегося при

К. А. ШУРКИН

О ПАЛЕОЗОЙСКИХ ПСЕВДОКОНГЛОМЕРАТАХ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ И КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

(Представлено академиком А. А. Полкановым 11 XII 1958)

После работ Н. Г. Судовикова ⁽¹⁾ и И. С. Ожинского ⁽²⁾ стало известно о выходах в северо-западном Беломорье конгломератов, находящихся в связи с палеозойским эффузивным и дайковым комплексом щелочных лампрофиров ⁽³⁾, приуроченных к зоне северо-западного простираения; эта зона имеет ширину около 50—60 км, протягивается от Ковдорозера на юго-восток до берегов Кандалакшского залива (рис. 1) и, вероятно, продолжается в район Онежского полуострова, где также известны щелочные эффузивы, туфы ⁽⁷⁾ и трубка взрыва ⁽¹⁵⁾.

Конгломератоподобные породы о. Телячьего рассматриваются ^(1, 4) в качестве «базальных конгломератов», разделяющих две группы щелочных лампрофиров, а «внутриформационные конгломераты» ⁽²⁾ свиты кварцито-песчаников Турьего мыса — как образования, синхронные с наиболее ранним периодом внедрения щелочной магмы.

После описания этих конгломератов был, казалось, решен в пользу палеозоя спорный вопрос о возрасте свиты песчаников Терского берега, которые ранее одними исследователями предположительно относились к девону, а другими — к иотнию. В последнее время это решение подвергается сомнению, и турьинские песчаники вместе с конгломератами Телячьего острова выделяются из состава собственно терской свиты красных песчаников (девон ^(2, 6, 8)) в качестве самостоятельной свиты эокембрийского ⁽⁷⁾ или кембрийского ⁽⁸⁾ возраста.

При исследованиях в 1956 г. в пределах Кандалакшской зоны даек мною были получены новые факты, которые позволяют пересмотреть вопрос о генезисе вышеназванных «конгломератов» и уточнить возраст турьинских песчаников.

На о. Телячьем, близ обнажения «базальных конгломератов», обнаружена жила карбонатита (мощность 0,6 м, падение 330°, $\angle 70^\circ$), секущая гнейсы архея, заполненная на 80—90% округлыми ксенолитами — «галечками и валунами» (диаметр от 3 до 50 см, в среднем 5—10 см) гнейсов и амфиболитов разнообразного состава: гранитов, пироксенитов, кристаллических известняков, зеленокаменных и изредка щелочных пород типа лампрофиров.



Рис. 1 — Кандалакшская зона щелочных даек. 1 — трубка взрыва и 2 — дайки щелочных пород на о. Еловом, 3 — область распространения комплекса щелочных даек, 4 — докембрий Балтийского щита, 5 — палеозой Русской платформы, 6 — трубка взрыва Нёноксы

Карбонатный цемент переполнен мелкими обломками тех же пород и их минералов. На первый взгляд цемент выглядит как кластический, но в тонких апофизах, отходящих в гнейсы висячего бока, сохраняет реликтовую порфириковую структуру и в отдельных местах, при неполной карбонатизации, определяется как авгито-биотитовый мончикит. Ксенолиты и контактирующие с дайкой гнейсы подверглись щелочному метасоматозу (эригенизация, альбитизация) и затем карбонатизации.

Эта дайка по составу и строению подобна «базальным конгломератам», дополнительное изучение которых привело автора к выводу, что и они также представляют секущую мигматиты полого лежащую карбонатитовую дайку (азимут падения $250-200^\circ$, $\angle 30-40^\circ$), переполненную округленными ксенолитами не местного происхождения и мелким кластическим материалом. Висячий борт этой дайки на большом протяжении сорван, и она сохранилась лишь в виде небольших останцов (припаев) в углубления лежащей стенки трещины, срезающей несколько более древние ⁽¹⁾ жилы фурчита и карбонатита, не имеющие ксенолитов.

Очень похожая по текстуре конгломератоподобная порода была обнаружена автором на о. Еловом в виде маломощных (0,1—0,5 м) даек и трубообразного тела (рис. 1), расположенного в одной тектонической зоне с этими дайками. Эта трубка представляет особый интерес; она в плане имеет овальную форму (8×20 м), обладает крутопадающими, четкими контактами, слагается (на 80—90%) окатанными и полуокатанными обломками такого же разнообразного состава и размеров, как в описанных выше карбонатитовых дайках, а также в расположенных рядом дайках порфиритов. Отличие заключается лишь в преобладании округленных обломков гранито-гнейсов и гранулитоподобных гранат-полевошпатовых амфиболитов над породами другого состава, в том числе и типа щелочных лампрофиров.

Цементирующей породой является серо-зеленый очень мелкозернистый, сильно карбонатизированный и цеолитизированный порфирит, переполненный мелкими обломками чуждых пород и минералов, с вторичной сфероидальной структурой и псевдоморфозами серпентина по авгиту и оливину.

Вся совокупность особенностей внутреннего строения и морфологии позволяет заключить, что это тело, вероятно, представляет трубку взрыва, наполненную обломками пород, главным образом залегающих на больших глубинах. Она пересекается дайкой частично карбонатизированного мончикита, также заключающего более редкие окатанные обломки, преимущественно гранат-амфибол-полевошпатовой гранулитоподобной породы.

На других островах Кандалакшского архипелага, особенно между о-вами Телячьим и Еловым, в зоне (4×10 км) северо-западного простираия (300°), довольно часто встречаются дайки в разной степени карбонатизированных щелочных порфиритов, содержащие небольшие окатанные обломки разнообразных кристаллических пород, отличных по составу от вмещающих. Из числа 150 осмотренных автором жил такие дайки вместе с упомянутыми выше составляют около 25%; среди них в отдельных случаях наблюдаются до предела наполненные «валунно-галечным» материалом (о-ва Еловый, Овечий, Сальный); иногда при этом цементирующий обломки порфирит почти полностью карбонатизирован (о. Олений).

На основании наблюдений над пересечениями одних даек другими устанавливается несколько генераций тел, содержащих окатанный обломочный материал. Например, кроме уже указанных случаев пересечения (о-ва Телячий, Еловый) можно упомянуть еще один: на о. Сев.-Сальном дайка авгитита, принадлежащая к более молодой генерации даек, чем описанные выше, пересекается еще более молодой дайкой карбонатита, переполненного обломочным материалом.

Все изложенное не оставляет сомнения в тесной и непосредственной генетической связи всех конгломератоподобных даек с комплексом щелочных порфиритов и не позволяет рассматривать карбонатитовые дайки с

обломками различных кристаллических пород в качестве типичных осадочных образований, как это делалось до сих пор (^{4,8}).

Обращаясь далее к внутриформационным конгломератам м. Турьего, рассмотренным нами в 1956 г. с целью сравнения их с конгломератоподобными породами Кандалакши, следует отметить, что они состоят из линзовидных тел непостоянной (от —2 до 10—15 м) мощности, протяжением до 30 м (верхнее) и 60 м (нижнее) и, по наблюдениям А. Г. Булах (1956—1957 гг.), имеют местами секущие контакты с кварцито-песчаниками, в которые они отсылают ветвящиеся апофизы. В сложении «конгломератов» главная роль принадлежит глыбам и обломкам залегающих под ними порфиробластических гранодиоритов Умбинского массива и реже щелочных порфиритов и других пород. Цементом является плотная мелкозернистая масса перетертого песчаника, местами (нижняя линза) с признаками магматической порфиритовой структуры, что было отмечено и ранее (²). В связи с образованием более поздних жил нефелин-эгириновых пород и даек щелочных базальтов (2-я и 3-я возрастные группы (⁵)) эти брекчии и песчаники фенитизированы.

Уже одни секущие контакты, не говоря о других особенностях строения, указывают на то, что эти породы были ошибочно приняты за нормальные конгломераты, — они, несомненно, генетически связаны с комплексом щелочных даек и, в частности, как это установлено А. Г. Булах (1956—1957 гг.), принадлежат по возрасту к 1-й группе щелочных даек, включающей наряду с другими также секущие дайки мончикитов с «гальками» гнейсов, гранитов, габбро и амфиболитов, вполне аналогичные кандалакшским; точнее, эти брекчии, вероятно, одновозрастны с трубкой о. Елового.

В генетическом отношении конгломератоподобные породы Кандалакшских островов и Турьего мыса, по-видимому, подобны описанным в США (^{9,10}), на Алтае (¹¹) и в Закарпатье (¹²) «валунчатым» дайкам и экзотическим брекчиям. Часть из них представляет результат прорыва на поверхность распыленной при взрыве лавы, переполненной окатанными во время движения обломками глубинных пород (о. Еловый); другие, вероятно, возникли вследствие проникновения снизу в зоны дробления мелкодисперсного, частью вулканического, а главным образом кластического материала, цементировавшего массу обломков и глыб местных пород брекчии м. Турьего); третьи свидетельствуют об относительно спокойном внедрении магмы, захватившей на глубине то или иное количество уже окатанных обломков чуждых пород (в большинстве — валунных даек); наконец, для некоторых жильных полостей не исключена (во время образования) связь с поверхностью, откуда в них могла попасть часть валунов и галек, залегание которых на глубине, под архейскими гнейсами (возраст $1000 \cdot 10^6$ лет), невероятно (о. Телячий). В частности, это относится к валунам зеленокаменных пород и кристаллических известняков, сходных с известняками из свиты имандра-варзуга, к галькам щелочных гранитов типа кейвских и некоторым обломкам биотитовых сланцев и гнейсов с возрастом до 1410 и 1520 млн. лет (по определению Э. К. Герлинга—аргоновым методом).

Суждение о возрасте даек щелочных пород на основании цифр абсолютного возраста сводится к следующему. Некоторые дайки мончикитов (Овей, Борщевец) и фурчит, срезанный «конгломератом» на о. Телячем, имеют возраст 470—480 млн. лет, а сами псевдоконгломераты не могут быть старше наиболее молодой заключенной в них гальки лампрофира (355 млн. лет); урьяиты (Кузнаволок), принадлежащие ко 2-й возрастной группе даек урьинского комплекса, показали возраст 270 млн. лет. Если сопоставить эти цифры с возрастом щелочных интрузий Кольского полуострова и Карелии, то урьяиты являются одновозрастными с герцинскими субвулканами Хибин и Ловозера (270—280 млн. лет); щелочные лампрофиры и карбонаты, частью с ксенолитами глубинных пород, а также трубка о. Елового и брекчии м. Турьего, по-видимому, представляют возрастные аналоги

позднекаледонских интрузий Вуориярви, Африканды и др. (345–375 млн. лет). В таком случае наиболее древние дайки лампрофиоров (470–480 млн. лет), очевидно, следует относить к начальным фазам каледонского орогенеза (кембрий—ордовик); с ними, может быть, также связан гидротермальное переотложение рудных элементов в архейских пегматитах⁽¹³⁾ и широко проявленная карбонатная минерализация трещин, охватившие площадь распространения этих даек в районе Кандалакшского залива.

Сказанное выше приводит к заключению, что вулканогенные псевдоконгломераты не могут служить основанием для прямого суждения о докембрийском возрасте турьинских кварцито-песчаников и вообще терской свиты в целом. По совокупности геологических особенностей эти кварцито-песчаники, очевидно, следует относить к иотнийским образованиям, как это считалось ранее⁽¹⁴⁾. Открытие новой трубки взрыва на северо-западе страны увеличивает перспективы алмазности этого района⁽¹⁵⁾.

Лаборатория геологии докембрия
при Отделении геолого-географических наук
Академии наук СССР

Поступило
8 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Г. Судовиков, Уч. зап. Ленингр. гос. ун-в., № 9, сер. геол., почв., географ., в. 2 (1936). ² И. С. Ожинский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1938). ³ Б. М. Куплетский, Формация нефелиновых сиенитов СССР, 1937. ⁴ Н. Г. Судовиков, Межд. геол. конгресс, XVII сессия. Путеводитель. Северная экскурсия, Кольский п-в, 1937. ⁵ Д. С. Бебякин, В. И. Владовец, Тр. Петрограф. инст. АН СССР, в. 2 (1932). ⁶ А. Я. Полканов, Тр. XVII межд. геол. конгр., 2, 1938. ⁷ Л. Я. Харитонов, Тр. III сессии по определению возраста геологич. формаций, Изд. АН СССР, 1955. ⁸ Геология СССР, 27, Мурманская область, 1955. ⁹ R. Faiglin, Econ. Geol., 29, № 4 (1934). ¹⁰ H. Williams, Bull. Geol. Surv. Am., 46, № 2 (1935), 47, № 1 (1936). ¹¹ М. В. Ташинина, Б. Л. Чепрасов, Изв. АН КазахскССР, сер. геол., в. 21 (1955). ¹² Б. В. Мерлич, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1958). ¹³ К. К. Жиров, С. И. Зыков, Тр. IV сессии по определению абсолютн. возраста геол. формаций, Изд. АН СССР, 1957. ¹⁴ Б. М. Куплетский, Петрография Кольского п-ва, Изд. АН СССР, 1932. ¹⁵ В. О. Ружицкий, Прогноз, № 12 (1957).

Л. И. ГОРБУНОВА

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГЛИН НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

(Представлено академиком Н. М. Страховым 27 XI 1958)

Глины в терригенных отложениях Северо-Восточного Кавказа играют весьма существенную роль. Местами они составляют до 30—40% мощности разреза; кроме того, глинистый материал в качестве цемента в значительных количествах содержится в алевролитах и переходных от глин к алевролитам разностях пород, достигая 40—45% их состава. Несмотря, однако, на это, глинистое вещество в указанных породах до последнего времени оставалось совершенно не изученным. В литературе имеются лишь немногие данные, освещающие минералогический состав нижнемеловых глин в самых общих чертах (^{1,2}). В течение 1956—1958 гг. нами произведены детальные минералогические исследования глин, взятых из подробно изученных нами разрезов нижнего мела Дагестана, Грозненской обл. и Кабардинской АССР. При этом основное наше внимание было направлено на фракции крупностью 0,01—0,001 мм и $\leq 0,001$ мм, так как более крупные фракции изучены разными исследователями довольно хорошо. В своей работе мы применяли комплекс методов: микроскопический, рентгеновский, химический, электронномикроскопический, термический и окрашивание. Ниже даем краткую сводку результатов исследования.

Все нижнемеловые глины темные: в готериве и барреме они зеленовато-серые, в апте и альбе — почти черные, благодаря обильным примесям органических веществ, совершенно затушевывающих естественную окраску глинистых минералов.

Гранулометрический состав глин характеризуется преобладанием крупнопелитовой фракции (0,01—0,001 мм), составляющей около 50% породы. Тонкопелитовая фракция вместе с коллоидной (частицы $\leq 0,001$ мм) обычно составляет не более 15—30%. Алевролитовая фракция, представленная главным образом мелкозернистым алевроитом (зерна 0,05—0,01 мм) достигает 20—30%, реже встречаются глины с малым содержанием алевролитовых обломочных зерен (менее 5%). Ввиду преобладающего значения в составе наших глин крупнопелитовой фракции изучению ее под микроскопом мы уделили максимум времени.

Минералогический состав различных гранулометрических фракций отличается в основном лишь количественными соотношениями минералов. С уменьшением крупности фракций уменьшается количество кварца и других обломочных зерен, а также аутигенных минералов (кальцит, пирит), и соответственно увеличивается количество глинистых минералов и органических веществ.

Крупнопелитовая фракция содержит гидрослюды, минералы монтмориллонитовой группы, слюды, кварц, полевой шпат, углистые частицы, споры, пыльцу и другие остатки растительных тканей; тяжелые минералы, представленные той же ассоциацией, что и в алевролитовой фракции, но отличающиеся своей правильной кристаллической ограниченностью; аутигенные минералы — кальцит, глауконит, пирит.

Микроскопическим путем в иммерсионных препаратах по составу выделены три типа глин: 1) гидрослюдистые, 2) бейделлитовые и 3) бейделлитово-гидрослюдистые. Наиболее распространенными являются глины гидрослюдистого и смешанного состава, переходные между первым и вторым типами.

По разрезу снизу вверх от готерива к альбу в глинах заметно увеличение минералов монтмориллонитовой группы и уменьшение гидрослюдов.

Глинистые минералы крупнопелитовой фракции характеризуются следующими свойствами. Гидрослюды двух разновидностей: а) близкие по своим свойствам к слюдам, обладающие высоким светопреломлением и двупреломлением ($N'_g = 1,585—1,606$; $N'_p = 1,570—1,582$; $N'_g - N'_p = 0,020—0,030$), игольчатой формой частиц и светло-зеленым цветом, вероятно, аутигенные; б) гидрослюды более гидратированные по сравнению с первыми отличаются пониженным светопреломлением и двупреломлением ($N'_g = 1,570—1,585$; $N'_p = 1,555—1,570$; $N'_g - N'_p = 0,016—0,024$), кроме псевдомонокристаллических частиц бледно-зеленого цвета присутствуют частицы агрегатного строения, окрашенные в буроватый цвет. Указанные разновидности гидрослюдов связаны между собой и со слюдами непрерывными переходами (мусковитового ряда).

Минералы монтмориллонитовой группы отличаются низким светопреломлением, колеблющимся для N'_g около 1,56; для N'_p около 1,54; $N'_g - N'_p = 0,021—0,024$. Частицы агрегатного строения зеленовато-буроватого и бурого цвета.

Кварц в виде остроугольных прозрачных зерен содержится в различных количествах, нередко составляющих до 20—30% фракции.

Тонкопелитовая фракция в большинстве случаев состоит из тех же глинистых минералов, что и крупнопелитовая фракция, но отличается большей обогащенностью минералами монтмориллонитовой группы и большей гидратированностью гидрослюдов. Благодаря этому очень часто светопреломление агрегатов ориентированных частиц фракции $< 0,001$ мм значительно ниже преобладающей массы частиц фракции $0,01—0,001$ мм. Повышение светопреломления агрегатов ориентированных частиц сравнительно с частицами крупнопелитовой фракции наблюдается лишь в тех случаях, когда коллоидные фракции в сильной степени обогащены тонкодисперсными органическими веществами. Одинаковые показатели преломления глинистого вещества той и другой фракции наблюдаются только при резком преобладании одного какого-либо глинистого минерала в составе глин. Минералы монтмориллонитовой группы, обогащая наиболее тонкие фракции глин, могут затушевывать присутствие гидрослюдов. Таким образом, во избежание преувеличения роли минералов монтмориллонитовой группы в составе некоторых глин, нельзя ограничиваться изучением лишь фракции меньше $0,001$ мм.

В тонкопелитовой фракции с уверенностью удастся выделить два типа глин: гидрослюдистого состава и глины, в которых главная масса этой фракции состоит из минералов монтмориллонитовой группы. В крупнопелитовой фракции четко выделяются вышеуказанные три типа глин.

В табл. 1 дана общая краткая характеристика фракций $< 0,001$ мм для глин разного состава*. Всего изучено 39 образцов. Для подавляющего большинства образцов наблюдается закономерная зависимость светопреломления и химического состава.

N_g увеличивается с увеличением K_2O и уменьшением H_2O , двупреломление остается почти неизменным: K_2O и H_2O обычно меняются обратно пропорционально друг другу. Кроме гидрослюдов и минералов монтмориллонитовой группы в составе большинства глин присутствует каолинит, реже

* Химические и рентгеновские анализы выполнены в лабораториях ВНИГНИ. Термические анализы (термограммы и обезвоживание) выполнены в лаборатории Геолнерудстроя.

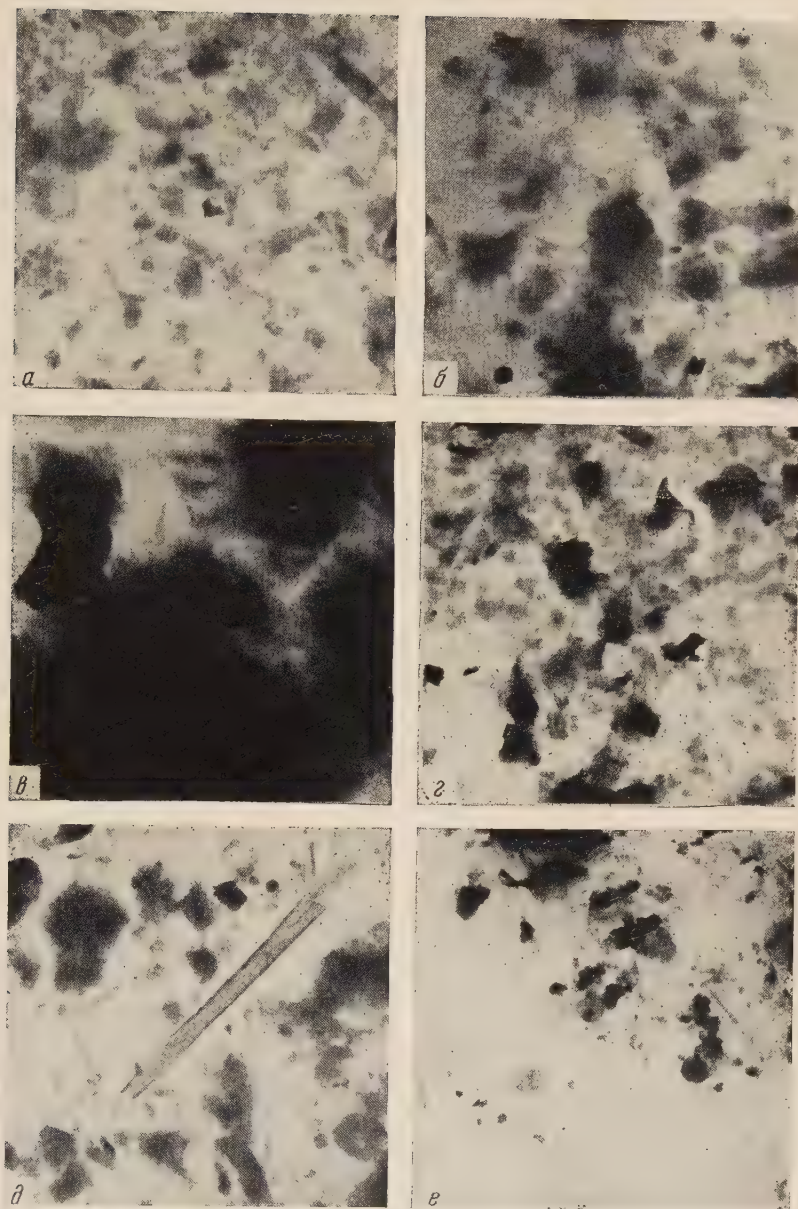


Рис. 1. *a* — глина гидрослюдистая, обр. № 27, Цудахар, Дагестан, Alb₁; *б* — глина гидрослюдисто-бейделлитовая, обр. № 28, Цудахар, Alb₂₊₃; *в* — глина бейделлитовая, обр. № 1187, р. Хэу, Кабардинская АССР, Alb₁; *г* — глина монтмориллонитовая, обр. № 6, Акуша, Дагестан, контакт Ст₁ с Ст₂; *д* — глина гидрослюдистая, с галлуазитом (трубка), обр. № 21, Цудахар, Ht; *е* — глина гидрослюдистая с галлуазитом (палочки), обр. № 9, Акуша, Alb₂₊₃

в них встречается галлуазит. Указанные минералы содержатся всегда в сугубо подчиненном количестве. Каолинит хорошо улавливается рентгеновским методом, а галлуазит чаще лишь электронномикроскопическим. Кварц обнаруживается химическим и рентгеновским анализами, количество его обычно не превышает 5—6%.

На электронномикроскопических снимках (рис. 1) представлены типичные морфологические особенности глинистых минералов изучаемых образцов глин разного состава.

Гидрослюды имеют вид полупрозрачных изометричных пластинок. Их неопределенная угловатая форма придает им «обломочный» вид и заставляет признать переотложенными. Удлиненные пластинки с более правильными очертаниями, очевидно, относятся к гидрослюдам аутигенного происхождения, образовавшимся в фазе диагенеза.

Таблица 1

Свойства тонкопелитовых фракций ($<0,001$ мм) разного состава *

	Гидрослю- дистые минералы	Монтморилло- нитовые минералы**
Показатели преломления:		
N'_g	1,570—1,591	1,543—1,570
N'_g	1,534—1,570	1,519—1,549
$N'_g - N'_p$	0,015—0,027	0,013—0,028
Окислы (в %):		
SiO ₂ силикаты.	40,72—53,62	41,47—58,62
Al ₂ O ₃	21,15—26,55	18,60—24,19
Fe ₂ O ₃	2,58—7,34	3,77—5,07
FeO	1,08—4,96	1,60—3,14
MgO	2,07—4,58	2,46—3,59
CaO	0,12—3,30	0,00—1,71
K ₂ O	2,60—4,89	0,26—3,72
Na ₂ O	десятые доли	
SiO ₂ : R ₂ O ₃ (молек.)	2,29—3,85	2,73—5,03
Линии дебаграмм (в кХ)	~10; 5	13,7—16,41; 4,49—4,55; 1,66—1,67
Обезвоживание (в %):		
H ₂ O до 200°	3,2—9,7	5,8—13,8
H ₂ O выше 200°	0,60—5,36	0,56—4,24
Эндотермические эффекты		
1-й — сильный	100—175°	115—145°
2-й — менее сильный, растяну- тый	505—605	530—640
3-й — слабый, непрерывно пере- ходит в следующий эффект	815—915	860—890
Экзотермический эффект слабый	915—1010°	915—950°

* По преобладающим минералам.

** Имеется в виду монтмориллонитовая группа минералов.

Минералы монтмориллонитовой группы в наиболее обычном виде представляют собой комковидные агрегаты, непросвечивающие в основной своей массе и полупросвечивающие и размытые по краям. Очень часто от поверхности агрегатов отходят шиповидные и дендритообразные выступы, придающие им «косматый» вид (рис. 1, б и в). Совсем другие особенности у монтмориллонита на рис. 1 г. Различие в морфологии, а также в других свойствах сравниваемых минералов заставляет признать в них разных предст-

вителей группы монтмориллонита. Первые, которые мы относим к бейделлиту, характеризуются сравнительно повышенным светопреломлением, меньшим количеством гигроскопической воды, более низкой температурой второго эндотермического эффекта (ниже 600°), меньшим содержанием кремнезема и большим — полуторных окислов. Вторые (рис. 1 *г*), относимые к монтмориллониту, отличаются низким светопреломлением (N_g около 1,519; N_p близок к 1,492), большим количеством гигроскопической воды ($\sim 14\%$), высокой температурой (выше 600°) второго эндотермического эффекта выделения конституционной воды, сильной разбухаемостью.

Галлуазит на электронномикроскопических снимках обычно имеет вид тонких палочек (рис. 1 *е*), реже сравнительно крупных трубочек (рис. 1 *д*). Следует отметить, что выделенные с помощью микроскопического, рентгеновского и химического методов типы глин на электронномикроскопических снимках большей частью не различаются (рис. 1а и *г*, б и *д*). Это объясняется сильной гидратированностью и дисперсностью гидрослюдов тонких фракций и обогащенностью последних минералами монтмориллонитовой группы.

Диagenетические изменения обломочных терригенных зерен выражены в глинах слабо. Глинистое вещество, основная масса которого имеет терригенное происхождение, вероятно, изменено наиболее сильно. Под микроскопом наблюдается явление раскристаллизации, особенно характерное для сланцевидных глин готерива и баррема. В верхних ярусах нижнего мела одинаковая ориентировка частиц глинистых минералов выражена значительно слабее, а более совершенная встречается редко. Отмеченное выше увеличение снизу вверх по разрезу глин гидрослюдисто-бейделлитового и бейделлитового состава за счет уменьшения глин гидрослюдистого состава, очевидно, обусловлено не только различным составом терригенного материала, приносимого в бассейн, но различными условиями и неодинаковой интенсивностью процессов диагенеза, менявшихся во времени. В том же направлении, т. е. снизу вверх, в изученных разрезах увеличивается количество свободного битума А. Указанная закономерность, возможно, объясняется отмечаемой в литературе (³) тесной взаимосвязью изменений органических веществ и минеральных компонентов породы.

Поступило
27 XI 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. П. Гмид, Геол. сборн., № 1 (1955). ² Л. И. Горбунова, Тр. Всесоюз. научно-исслед. геол.-разв. нефт. инст., в. 6 (1955). ³ Н. М. Страхов, Сборник: Методы изучения осадочных пород, 2, 1957.

Н. Н. МАРТЬЯНОВ

О ПРОИСХОЖДЕНИЮ ОВАЛЬНЫХ ФОРМ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 26 XII 1958)

Выяснение происхождения форм пегматитовых тел, как известно, важно не только для определения их геологических соотношений с окружающей средой, но и для правильной промышленной их оценки. Обычно происхождение овальных форм пегматитовых тел объясняют их будинированием (^{9, 10}) или застыванием пегматитового расплава в жильных полостях овальной формы. Возникновение последних связывают со смещением пород вдоль изогнутых трещин (²⁻⁵) или с интрузивной силой расплава (²). Существует также мнение о происхождении овальных полостей в результате неоднородного ориентированного сжатия расплава в полостях пластинчатой формы (¹). Иногда образование овальных полостей объясняют процессами ассимиляции.

Изучение пегматитовых тел нагорья Сангилен (⁶) и Енисейского кряжа позволяет говорить о существенно ином способе происхождения их овальных форм. В указанных районах пегматитовые тела овальной формы образовались в неспокойной тектонической обстановке на значительной глубине в экзоконтакте крупных гранитных интрузивов одновременно с ними. Они залегают по направлению сланцеватости в дислоцированных парagneйсах и слюдяных сланцах, с которыми обычно имеют четкие согласные контакты, свидетельствующие об образовании их овальных форм без участия процессов ассимиляции. Форма тел линзовидная, нередко симметричная, всегда несколько более вытянутая в одном направлении, в некоторых случаях шаровидная. Довольно часто жилы состоят из нескольких соединенных между собой линз, образуя тела четковидной формы. Наблюдаются все переходы от тонких линз (мощностью в несколько сантиметров) до крупных (мощностью в десятки метров) линзовидных раздувов, а также переходы в одном теле овальных форм в пластинчатые. Переходы происходят в интервалах от долей до десятков метров и не позволяют объяснять происхождение этих разнородных форм равномерным давлением расплава. Особенно трудно понять природу интрузивного давления у небольших арций расплава, кристаллизующихся в виде изолированных тел овальной формы. Кроме того, с точки зрения признания у расплава «интрузивной силы» остается неясным, почему многие тела пегматитов, разновозрастные с овальными пегматитовыми телами и внедрившиеся в одинаковую с ними систему ещтин, сохранили четкую пластинчатую форму.

Форма овальных пегматитовых тел, особенно — обладающих чертами симметрии, обычно не обнаруживает прямой зависимости от строения вмещающих трещин. Это доказывается отсутствием подобия в рельефе их противоположных стенок; оно не позволяет связывать происхождение овальных полостей только со смещением боковых пород вдоль изогнутых трещин. Так, например, происхождение четковидных форм пегматитовых тел нельзя связать с «поперечными к линейности смещениями гофрированной поверхности по одной из поверхностей сланцеватости» (⁴), поскольку при реставра-

ции гофрировки такой гипотетической пачки изгибы противоположных сторон пегматитовых тел, при обратном их смещении, часто не совпадают ни по форме, ни по амплитуде. Еще сложнее объяснить таким способом происхождение тел, обладающих овальной формой в поперечном и продольном сечениях, а также изолированных тел овальной формы и тел, окруженных ореолом мелкой складчатости.

Мнение о преобразовании заполненных расплавом пластинчатых полостей в овальные путем их неоднородного ориентированного сжатия, связанного с короблением пластов при изгибе без скольжения (⁷), также трудно доказуемо. При таком сжатии возможны только два пути морфологического развития пластинчатой полости.

Первый путь — когда ориентированное сжатие возникает с одной стороны полости. В том случае под влиянием сжатия может деформироваться только один ее контакт. На противоположный контакт расплав передается эти усилия как равномерные. Поэтому симметричного искривления второго контакта не последует.

Второй путь — когда такое же сжатие воздействует на полость с обеих сторон. В этом случае могут деформироваться оба ее контакта. Однако симметричного искривления противоположных контактов полости, вследствие дисгармоничности складок коробления, не наступит.

Таким образом, ни в первом, ни во втором случаях неоднородного ориентированного сжатия пластинчатых полостей не могут образоваться типичные овальные формы. Более того, в условиях пластичных метаморфических толщ (в экзоконтакте крупных глубинных интрузивов), в которых формируются овальные тела, сомнительна сама возможность коробления пластов и возникновение обусловленного им неравномерного локального сжатия. В тех случаях, когда коробление пластов все же наблюдается, его контролирующего влияния на морфологию и расположение овальных тел и расщелков не отмечается.

Для описываемых овальных пегматитовых тел характерно отсутствие процессов бластеза, гнейсовидных текстур и признаков расщелкования эндоконтактов. При наличии в пегматитовых телах зональности расположения зон первичной кристаллизации контролируется только морфологией тел, а ориентировка образовавшихся при застывании расплава кристаллов внутри зон определяется лишь особенностями ортокристаллизации. Так, кристаллы раннего турмалина образуют «солнца» вокруг ксенолитов или ориентируются перпендикулярно контактам пегматитовых тел, следуя за их изгибами. Подобные наблюдения указывают на то, что морфологическое развитие пегматитовых полостей закончилось до кристаллизации в них расплава и что форма, а также текстура и структура тел впоследствии не менялись. Перечисленные факты, вместе с фактами нахождения разновозрастных пегматитовых тел пластинчатой и овальной формы в одних и тех же геологических условиях и непосредственной близости друг друга, не позволяют объяснять происхождение овальных форм тел их бифурцированием.

Выше отмечалось, что овальные пегматитовые тела, форма которых зависит прямо от строения трещин, обычно располагаются в дислоцированных породах зоны экзоконтакта крупных глубинных материнских интрузивов. Это позволяет рассматривать такие условия как благоприятные для возникновения пегматитовых тел овальной формы. Как известно, предполагают, что в этих условиях горные породы испытывали некоторое размятие (^{4, 9, 10}), а заполнивший трещины пегматитовый расплав — бесчисленные внешние толчки различной силы и направления. В такой обстановке любая порция расплава, в соответствии с принципом Ле-Шателье, неизбежно стремилась принять наиболее устойчивую форму, при которой суммарная энергия внешних толчков на расплав была бы минимальной. В идеале такая форма должна обладать наименьшей удельной поверхностью, т. е. напоминать шар. Течению процесса «шарообразования», по-видимому

способствовала также свободная поверхностная энергия, роль которой в условиях близких плотностей среды и расплава могла быть значительна. Разница указанных энергий (суммарной энергии внешних толчков и свободной поверхностной энергии) в двух состояниях (пластинчатом и шаровидном) и являлась, по нашему мнению, движущей силой этого процесса. Поэтому в неспокойной тектонической обстановке при наличии пластичных вмещающих пород трещины, заполненные пегматитовым расплавом, должны были продолжить свое морфологическое развитие, приспособляя первичные формы к форме, напоминающей шар, до тех пор, пока затвердевание расплава не парализовало бы возможность этого развития.

В известном противоречии с изложенным, на первый взгляд, находится лишь то обстоятельство, что многие пегматитовые тела в рассматриваемых условиях все же имеют пластинчатую форму, обнаруживающую некоторую зависимость от первичного строения трещин.

Детальные полевые наблюдения и анализ литературы, относящейся к исследованию аналогичных пегматитов (^{1, 3, 6, 8, 11}), показывают, что между одновозрастными пегматитовыми телами пластинчатой и овальной формы, залегающими в одинаковых геологических условиях, имеются существенные различия.

1. Для пегматитовых тел пластинчатой формы характерны мелко- и среднекристаллические структуры, массивные и участковые текстуры, а также простейшая зональность, выражающаяся в наличии четких аплитовидных оторочек и увеличении размеров породообразующих минералов в осевых частях жил. Пластинчатые тела обычно катаклазированы и бедны пневматолитическими (мусковит, турмалин, апатит и т. п.) и редкометалльными (берилл и т. п.) минералами, образующимися в процессе последовательного застывания пегматитового расплава. Высокое в ряде случаев содержание, например, мусковита в пегматитах пластинчатой формы обычно связано с процессами более позднего замещения, развивающегося вдоль трещин. Пневматолитическое воздействие пластинчатых пегматитов на вмещающие породы слабое. Складки течения в экзоконтактах тел отсутствуют.

2. Для пегматитовых тел овальной формы характерны крупно-, иногда гигантокристаллические структуры и хорошо выраженная концентрическая зональность. Аплитовидные оторочки катаклазированы, разорваны или совсем отсутствуют. Пегматитам свойствен слабый катаклиз, гнездовое обогащение тел пневматолитическими и редкометалльными минералами, связанными с процессами внутреннего замещения, и сильный пневматолитиз вмещающих пород. Выпуклые тела овальной формы нередко сопровождаются ореолом мелких складок течения или гофрировкой вмещающих пород.

Перечисленные различия между пегматитовыми телами пластинчатой и овальной формы показывают, что овальные тела, в отличие от пластинчатых, застывали из порций (частей) пегматитового расплава, значительно более обогащенных минерализаторами. Упомянутым порциям обычно свойственны пониженные вязкость и температура кристаллизаций. Поэтому такие порции расплава обладали длительным периодом существования. В неспокойных тектонических условиях при наличии пластичных вмещающих пород трещинные полости, заполненные расплавом с указанными свойствами, по-видимому, имели возможность продолжительного морфологического развития, в результате которого, как отмечалось выше, они могли приобрести овальную форму. Трещины, заполненные порциями того же расплава, обедненными минерализаторами и, следовательно, обладавшими кратковременным периодом существования, в тех же геологических условиях не меняли своей первоначальной конфигурации, так как находящийся в них расплав, вероятно, застывал прежде, чем начиналась деформация стенок этих трещин. В остальных случаях морфологическое развитие заполненных расплавом трещинных полостей останавливалось на ступенях, промежуточных между конфигурациями первичных трещин

и овальными формами. Такова, на наш взгляд, одна из возможных причин образования в рассмотренных условиях некоторых овальных форм пегматитовых тел, обладающих чертами симметрии.

Предлагаемая схема морфологического развития заполненных расплавом трещинных полостей, с учетом специфических особенностей, может быть, видимо, использована также для объяснения происхождения овальных форм некоторых рудоносных тел, являющихся легколетучими и легкоплавкими дериватами магмы и образующихся в аналогичных условиях.

Институт минералогии, геохимии и
кристаллохимии редких элементов
Академии наук СССР

Поступило
22 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. А. В л а с о в, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1956). ² Ф. И. В о л ь ф с с н, Сборн. Основные проблемы в учении о магматогенных месторождениях, 1953, стр. 535.
³ А. И. Г и н з б у р г, Разведка недр, № 2 (1952). ⁴ Н. В. Г о р л о в, Сборн. Методика геол. картирования метаморфических комплексов, 1957, стр. 257. ⁵ Ю. П. И в е н с е н, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1957). ⁶ Н. Н. М а р т ь я н о в, ДАН, 115, № 5 (1957). ⁷ Г. Г. Р о д и о н о в, Тр. Всесоюзн. н.-и. инст. Асбестцемент, в. 5, 194 (1956). ⁸ Сборн. Слюдь СССР, 1937. ⁹ А. А. С о р с к и й, Тр. Геофиз. инст. АН СССР, № 18 (1952). ¹⁰ Н. Г. С у д о в и к о в, Тр. Лаб. геол. докембрия АН СССР, в. 4 (1954). ¹¹ А. Е. Ф е р с м а н, Пегматиты, 1, 1940.

А. М. ПАП

ОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА БЕЛОРУССКО-ЛИТОВСКОГО МАССИВА

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 22 XII 1958)

Глубоким бурением, проведенным на территории Ивьевского района Гродненской обл. под верхнемеловыми (с. Морино) и верхнеэокембрийскими (с. Зубковичи) отложениями ⁽⁴⁾, вскрыты своеобразные темноцветные породы основного состава, которые могут быть отнесены к наиболее древним магматическим образованиям, известным на территории Белорусско-Литовского кристаллического массива. Как показали геофизические исследования ^(2,3), эти породы характеризуются повышенными магнитными свойствами и являются причиной магнитных и гравитационных аномалий района Ивье. Подобного рода аномалии образуют ряд полос, располагающихся в общей зоне северо-восточного простираения в пределах Белорусско-Литовского кристаллического массива. Это дает основание полагать, что породы, аналогичные породам сс. Морино и Зубковичи, широко распространены в районе упомянутого кристаллического массива, и их подробная характеристика представит интерес для геологов и геофизиков, занимающихся изучением докембрия Русской платформы.

Первое краткое описание этих пород было дано Ю. Ир. Половинкиной, и под названием габбро и габбро-норитов они вошли в литературу ⁽¹⁻⁴⁾. Детальное их изучение на образцах керна, переданных нам А. С. Махначом, послужило предметом настоящего сообщения.

Породы эти были встречены скважинами в сс. Морино и Зубковичи на глубине 134,5 и 254,0 м соответственно и пробурены до глубины 170,2 и 288,8 м. По внешнему виду это темно-серые, почти черные породы, в сильной степени разгнейсованные, особенно в верхней части. Гнейсоватость пород подчеркивается плоскопараллельным расположением чешуек биотита, содержание которых повышается в сланцеватых участках. Порода имеет среднезернистую сланцеватую структуру, обусловленную плоскопараллельным расположением чешуек биотита на общем фоне аллотриоморфнозернистой массы породы. В некоторых участках она гипидиоморфнозернистая гранитовидная или типично габбровая. Нередки структуры замещения и катаклаза.

Общий минеральный состав породы в наиболее свежих разностях, например с глубины 287,0 м (с. Зубковичи), представляется в следующем виде (в линейных процентах): плагиоклаз 52,6%, пироксен 9,8%, роговая обманка в единичных зернах, биотит 13,1%, кварц 5,4%, рудные минералы 8,6%, кальцит, серицит и хлорит 6,9%. В виде единичных зерен присутствуют апатит, рутил и циркон, минерал из группы серпентина — антигорита, цоизит и мусковит, кроме того кварц и микроклин.

Отдельные минералы характеризуются следующими особенностями.

П л а г и о к л а з на глубоких горизонтах довольно свежий, но трещиноват. По составу соответствует андезину № 43 (с. Морино, среднее из 23 измерений по методу Е. С. Федорова) и № 42 (с. Зубковичи, среднее из 30 измерений). Эти данные подтверждаются измерениями величины N'_p на спайных плоскостях плагиоклаза по (001) и (010), равной 1,549 для плагиоклаза с. Морино и 1,551 для плагиоклаза с. Зубковичи. Из более чем 50 измерений, специально произведенных для петрологических корреляций, на зернах плагиоклаза обеих скважин установлено, что преобладающим законом двойникования является альбит-эстерельский, в меньшей степени распро-

сгранены альбитовые и карлсбадские двойники. Изредка встречаются двойники по периклиновому закону.

Пироксен представлен авгитом и гиперстеном, но степень сохранности их, особенно гиперстена, увеличивается пропорционально удалению от древней коры выветривания. Оптические константы авгита: $c:N_g = 38-52^\circ$, $2V=54-66^\circ$, положительный, $N_g = 1,712 \pm 0,002$, $N_m = 1,695(!)$, $N_p = 1,687 \pm 0,002$, $N_g - N_p = 0,025$ (с. Морино); $c:N_g = 49-60^\circ$, $2V=67^\circ$, положительный, $N_g = 1,705 \pm 0,001$, $N_p = 1,683 \pm 0,003$, $N_g - N_p = 0,022$ (с. Зубковичи). Гиперстен из с. Зубковичи: $c:N_g = 4-10^\circ$, иногда 0° , $2V=80^\circ$, отрицательный, $N_g = 1,694 \pm 0,002$, $N_p = 1,680 \pm 0,002$, $N_g - N_p = 0,014$; в породе с. Морино гиперстен полностью замещен минералом из группы серпентина — антигорита.

Биотит, благодаря своему плоскопараллельному расположению, частично является минералом бластеза породы. Это подтверждается не только широким развитием структур катаклаза породы, но и появлением новой генерации биотита, развитой по плоскостям срезания, которыми поражены более крупные пластинки этого же минерала. Обе разновидности биотита по оптическим свойствам между собой не различаются: $N_g = 1,650 \pm 0,002$, $N_p = 1,599 \pm 0,001$, $N_g - N_p = 0,051$. Аналогичными оптическими константами характеризуется и биотит с. Морино.

Роговая обманка представлена обыкновенной и актинолитом. Обыкновенная роговая обманка с $c:N_g = 17-20^\circ$ и плеохроизмом от желтовато-зеленого по N_g до светло-зеленовато-желтого по N_p , $-2V=72-78^\circ$, $N_g = 1,676 \pm 0,001$, $N_m = 1,661 \pm 0,002$, $N_p = 1,650 \pm 0,003$, $N_g - N_p = 0,026$ (с. Морино). Актинолит характеризуется $c:N_g = 10^\circ$.

Кварц представлен двумя генерациями. Первая состоит из крупных, сильно катаклазированных зерен. Другая представлена мелкими мозаичными зернами, имеющими вид прожилков или цемента в массе раздробленных зерен плагиоклаза.

Калиевый полевой шпат встречается в виде антипертитовых вростков в андезине, имеющих обычно четырехугольную форму, как бы ограниченную плоскостями спайности. Координаты полюса спайности (021) калиевого полевого шпата из породы с. Зубковичи $N_g = 56^\circ$, $N_m = 36^\circ$, $N_p = 82^\circ$, $2V=79^\circ$, отрицательный. Приведенные данные позволяют отнести исследованный калиевый полевой шпат к микроклину.

В качестве акцессорных минералов в породе присутствуют апатит, ильменит, магнетит и гематит в структурах распада.

Апатит представлен обычными для него призматическими зернами с несколько закругленными краями.

Ильменит и магнетит присутствуют в породе в тесных срастаниях друг с другом. По количественному содержанию обычно преобладает ильменит. Последний представлен пластинчатыми выделениями, с зазубренными ограничениями в результате растрескивания. Весьма характерны для ильменита структуры распада его с гематитом, в виде косоугольной решетки гематита в ильмените. В случае срастания ильменита с магнетитом решетка гематита одновременно пересекает выделения обоих минералов. Более поздний гематит корродирует ранее образованные рудные минералы. Совместно с ним нередко присутствует и лимонит.

В числе других вторичных минералов, кроме лимонита и части гематита, в породе присутствуют: кальцит, минерал из группы серпентина — антигорита и хлорит.

Кальцит главным образом развит в верхней части вскрытой скважинами породы, где он сохранился со времени образования древней коры выветривания. В некоторых шлифах содержание его достигает 60%. Развиг он по плагиоклазу и темноцветным минералам, в меньшей степени образуется на месте биотита. Кроме того, встречаются также прожилки кальцита, секущие более свежие разности пород по глубине. Оптические его свойства обычны.

Х л о р и т развит главным образом по пироксену и роговой обманке редко приурочен к трещинам в плагиоклазе. Оптические константы хлорита из с. Морино: $N_g = 1,599 \pm 0,002$, $N_m = 1,580 \pm 0,002$, $N_p = 1,586 \pm 0,001$, $V_g - N_p = 0,013$; минерал слабо двуосный, отрицательный, плеохроирует от светло-зеленовато-желтого по N_p до синевато-зеленого по $N_g - N_m$. Согласно этому может быть отнесен к группе антигорита (?).

Кроме описанного выше хлорита, в породе присутствует тонкочешуйчатый минерал, который развивается преимущественно по спайности авгита образованием петельчатых структур замещения. Гиперстен же полностью замещается (с. Морино) минералом, который имеет светло-желтую и светлую окраску, весьма слабо плеохроичную в тех же тонах. Кроме того, минерал имеет хорошо выраженную спайность по одному направлению и значительно менее отчетливо выраженную отдельность, имеющую ступенчатый характер, ориентированную под углом 50° относительно спайности. Рассмотрение на столике Федорова показывает, что минерал обладает очень малым отрицательным углом оптических осей или одноосен. Показатели его заломления следующие: $N_g = 1,585 \pm 0,001$, $N_p = 1,578 \pm 0,001$, $V_g - N_p = 0,007$. На основании приведенных данных минерал отнесен нами к группе антигорита типа бастита. Как видно из описания пород из кварца сс. Морино и Зубковичи, для них характерно наличие аллориоморфнозернистой габбровой и сланцеватой структур, причем последняя имеет вторичный характер. В минеральном составе пород обращает на себя внимание присутствие среднего плагиоклаза (андезина), несколько более кислого, нежели у типичного габбро. Присутствие в породе более позднего кварца и микроклина свидетельствует о проявлении процессов калиевого и кремниевого метасоматоза, которым подвергалась порода. Химический состав свежей породы и измененных ее разностей иллюстрируется анализами, выполненными по нашей просьбе в лаборатории Киевского геологического управления, результаты которых, совместно с перенесенными на них по методу А. Н. Заварицкого, приведены в табл. 1.

При сравнении числовых характеристик изученных пород с нормативными составами по Дэли прежде всего устанавливается принадлежность этих пород к группе базитов. Вместе с тем, по мере уменьшения глубины залегания, отчетливо выступают фациальные изменения пород, связанные вторичным преобразованием. Независимо от наличия в породе гнейсоватых массивных разностей, числовые характеристики показывают в общем идентичный состав различных частей породы. Это обстоятельство свидетельствует о том, что отдельные структурно-текстурные особенности породы являются приобретенными в процессе эволюции, а отдельные ее части связаны общностью происхождения. Дополнительные числовые характеристики показывают, что порода является сильно железистой, при умеренном соотношении известковой и фемической частей породы. Соотношение калия и натрия в свежих разностях породы показывает преобладание последнего, тогда как в верхних, более измененных частях ее (образцы № 3, 26, 30) калий резко преобладает, при ничтожном содержании натрия. Последнее указывает, что при изменении породы происходит интенсивный вынос натрия из состава полевых шпатов и накопление в породе калия, заключенного в глинисто-слюдистой ее части.

На основании минералогического и химического изучения пород из кварца сс. Морино и Зубковичи их следует отнести к габбро и частично к габбро-норитам, ввиду присутствия на некоторых их интервалах гиперстена. Сильная степень разгнейсования пород, выражающаяся в появлении почти полностью рассланцованных разностей, придает породе ортоамфиболитовый облик, а уменьшение степени разгнейсования с глубиной свидетельствует, с одной стороны, о частичной ассимиляции магмой основного состава части толщи древних гнейсов, служивших рамой для данного плутона, а с другой, указывает сильную степень динамометаморфизма породы, вовлеченной в складкообразование. Скважинами вскрыта только периферическая часть

	с. Морино		с. Зубковичи				
	обр. № 3, 141,4 м	обр. № 24, 167,9— 168,6 м	обр. № 26, 245,0— 247,0 м	обр. № 30, 248,0— 250,0 м	обр. № 44, 257,0— 259,6 м	обр. № 59, 277,0— 279,8 м	обр. № 283,0— 285,6 м
Содержание в весовых процентах							
SiO ₂	42,12	46,12	49,80	44,06	48,79	52,33	51,51
TiO ₂	2,40	2,80	2,40	2,40	2,25	2,40	2,25
Al ₂ O ₃	11,83	15,52	12,78	13,00	14,04	14,20	14,82
Fe ₂ O ₃	4,00	9,50	10,00	10,49	11,53	8,86	7,44
FeO	12,15	4,40	1,67	1,59	2,65	3,64	3,79
MnO	0,10	0,13	0,06	0,13	0,04	0,11	0,13
CaO	7,38	8,88	4,00	7,10	6,42	7,66	8,20
MgO	3,69	4,34	3,50	3,51	5,21	4,43	4,88
K ₂ O	3,31	1,83	6,09	5,08	1,57	1,46	1,25
Na ₂ O	1,08	2,74	0,41	0,46	2,12	2,44	2,67
P ₂ O ₅	0,88	0,86	0,70	0,74	0,63	0,62	0,58
SO ₃	0,32	1,12	сл.	0,17	сл.	сл.	0,29
П. п. п.	8,75	1,30	6,70	8,55	2,33	1,40	1,26
—H ₂ O	2,30	0,30	2,30	2,50	2,70	0,45	0,60
Сумма	100,31	99,84	100,41	99,78	100,28	100,00	99,67

Числовые характеристики по А. Н. Заварицкому

<i>a</i>	8,28	7,46	11,94	10,83	7,46	7,63	7,94
<i>c</i>	4,92	5,26	3,55	4,55	6,29	6,00	6,31
<i>b</i>	29,63	21,70	19,64	24,72	24,75	22,69	22,91
<i>S</i>	57,15	66,19	64,90	59,90	61,50	63,68	62,84
<i>Q</i>	—7,16	+12,22	+1,43	—6,41	+1,79	+6,10	+3,49
<i>f'</i>	57,78	50,56	53,31	50,48	53,56	50,16	45,20
<i>m'</i>	24,27	35,05	33,46	27,61	38,16	33,96	37,15
<i>c'</i>	17,94	19,38	9,23	21,91	8,28	15,88	17,65
<i>n</i>	33,96	69,84	7,60	10,14	66,66	72,22	76,68
<i>t</i>	4,10	3,13	3,49	3,93	3,33	3,32	3,16
<i>φ</i>	13,19	33,14	48,46	41,90	42,60	34,26	28,48

плутон, представляющая до некоторой степени краевые гнейсы древней интрузива. Подобная степень разгнейсования пород не характерна для пород более кислого состава, известных не только в Белоруссии, но и в пределах Украины, в том числе и для близких территориально к Белоруссии габбро-лабрадоритовых плутонов Волини. Это обстоятельство свидетельствует о том, что породы, вскрытые скважинами в сс. Морино и Зубковичи, являются наиболее древними магматическими образованиями, известными на территории Белорусско-Литовского кристаллического массива. По времени образования их можно отнести к раннему (нижнеархейскому) этапу развития тектоно-магматической подвижной зоны. По сравнению с ними более древними являются лишь вмещающие их толщи древних гнейсов. Принимая во внимание близкое расстояние между скважинами в сс. Морино и Зубковичи, не превышающее 12 км, можно принять, что они вскрывают единое магматическое тело, имеющее, согласно контурам магнитных аномалий (^{2,3}), северо-восточное простирание и крутое падение. Вероятно, этот плутон имеет также согласное залегание с вмещающей его толщей метаморфических пород и был вовлечен совместно с ней в орогенные движения более поздних периодов.

Институт геологических наук
Академии наук СССР

Поступило
20 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. А. Варданьянц, Сборн. Геол. строение СССР, 2 (1958). ² Б. В. Бондаренко, Докл. АН БССР, 2, № 6 (1958). ³ Б. В. Бондаренко, Л. И. Ногограблена, Изв. АН БССР, № 1 (1956). ⁴ А. С. Махнач, Древнепалеозойские отложения Белоруссии, Изд. АН БССР, 1958.

Академик АН АзербССР Х. И. АМИРХАНОВ, С. Д. БРАНДТ и Е. Н. БАРТНИЦКИЙ

ДИФФУЗИЯ РАДИОГЕННОГО АРГОНА В ПОЛЕВЫХ ШПАТАХ

Известно, что в полевых шпатах могут происходить значительные потери радиогенного аргона A^{40} , образовавшегося в них в результате радиоактивного превращения K^{40} .

Посвященные этому вопросу работы ^(1,2) содержат линейные приближения, искажающие механизм выделения A^{40} .

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования кинетики выделения A^{40} на двух образцах докембрийского полевого шпата. Были взяты ситовые фракции размером 0,053—0,104 мм, навески которых (1,5 г) прогревались при различных температурах в течение определенного времени. Количества оставшегося после прогрева A^{40} измерялись масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления ⁽³⁾.

Полученные данные представлены на рис. 1 и 2, где по ординате отложен натуральный логарифм отношения количеств A^{40} после прогрева $[A_t^{40}]$ и A^{40} до прогрева $[A_0^{40}]$. Для образца № 1 $[A_0^{40}]$ равно 0,962, а для образца № 2 0,992 нм³/г. Температуры прогрева (в °C) указаны у соответствующих кривых.

Для интерпретации полученных кривых воспользуемся уравнением диффузии для сферического случая:

$$\frac{[A_t^{40}]}{[A_0^{40}]} = \frac{\sigma}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2 D_t \tau}{r_0^2} \right] \quad (1)$$

и известной зависимостью постоянной диффузии от температуры

$$D_t = D_0 e^{-E/RT}. \quad (2)$$

Здесь τ — время прогрева навески, r_0 — средний радиус зерен (в нашем случае $r_0 = 0,04$ мм), $n = 1, 2, 3, \dots$, D_0 — константа, E — энергия активации, R — газовая постоянная, T — абсолютная температура прогрева.

Из рис. 1 (образец № 1) видно, что кривые прогрева при 800 и 1100°, вопреки зависимости (1), имеют горизонтальные участки значительной протяженности. Наклон кривых, вопреки зависимости (2), увеличивается не монотонно с температурой, а периодически, в интервалах, разграниченных кривыми с горизонтальным участком.

Для выяснения природы горизонтальных участков кривых некоторое количество образца № 1 было измельчено в агатовой ступке до пудрообраз-

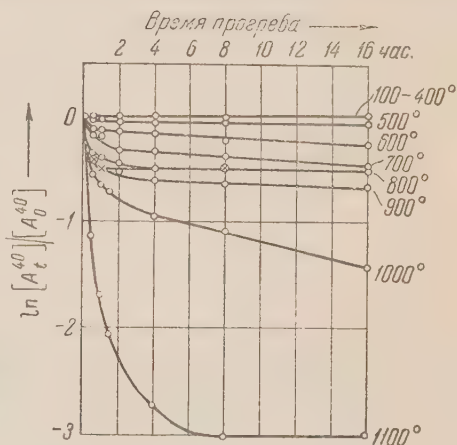


Рис. 1

ного состояния, разбито на навески по 1,5 г и прогрето при 800° в течение различного времени. Результаты определения оставшегося A^{40} в этих навесках показаны на рис. 1 крестиками. Горизонтальный участок не сме-

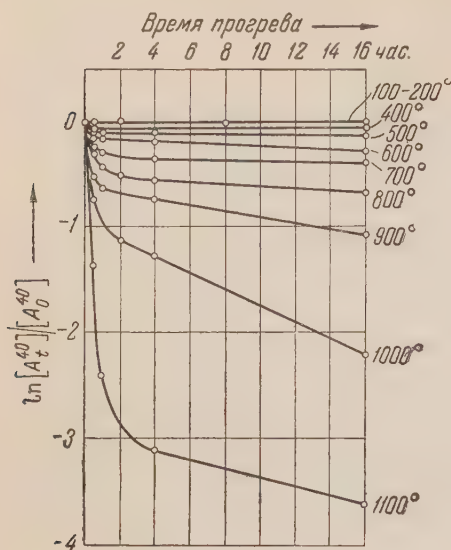


Рис. 2

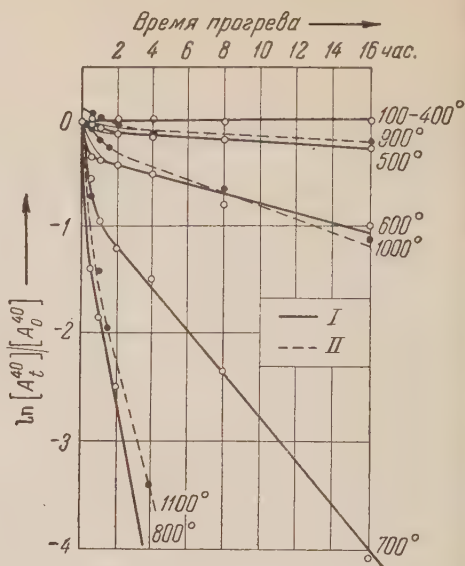


Рис. 3

щается по вертикали, а лишь удлиняется в сторону оси ординат. Следовательно, наличие горизонтального участка обусловлено не величиной зерен, а структурными особенностями данного полевого шпата. Начало же его определяется величиной D_1/r_0^2 в соответствии с уравнением (1). Процесс, происходящий при 800 и 1100°, может быть истолкован как быстро затухающая диффузия, исчерпывающая содержание A^{40} в определенной фазе, которая характеризуется присущими ей значениями E и D_0 .

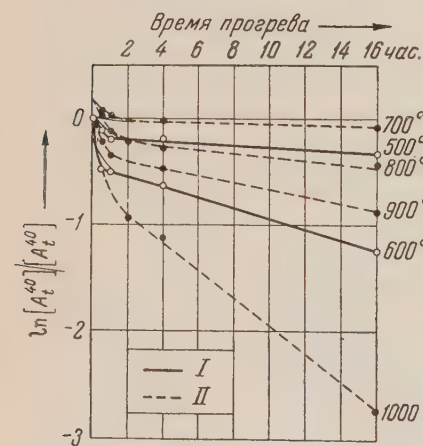


Рис. 4

Поэтому интерпретацию кривых необходимо производить по A^{40} , принадлежащему каждой фазе в отдельности. Так, образец № 1 имеет три фазы. В I фазе содержание A^{40} соответствует количеству A^{40} , выделившемуся до 800° включительно, и составляет 0,370 нмм³/г. Во II фазе (900—1100°) содержится 0,546 нмм³/г. В III фазе (>1100°) 0,046 нмм³/г. Результаты такой интерпретации представлены на рис. 3 (I и II — номера фаз).

Рассуждая аналогично, можно разбить образец № 2 также на три фазы: I фазу (от 500 до ~650°) с содержанием A^{40} 0,206 нмм³/г, II фазу (от 700 до ~1050°) с содержанием A^{40} 0,659 нмм³/г и III фазу (>1050°) с содержанием A^{40} 0,067 нмм³/г. Характерной особенностью этого образца является наличие «нулевой» фазы, в которой потери A^{40} происходят почти мгновенно при 400°. Они должны происходить за счет процессов типа десорбции или капиллярной диффузии с малой энергией активации (содержание A^{40} = 0,060 нмм³/г). Результаты такой интерпретации образца № 2 даны на рис. 4.

Наклон кривых на рис. 3 и 4 возрастает для каждой фазы с повышением монотонно, что позволяет произвести их анализ в терминах уравнений (1) и (2) и подтверждает правильность нашей интерпретации.

Для определения значений D_t была построена сетка кривых по уравнению (1) для различных значений D . Значения D_t находились путем наложения этой сетки на кривые рис. 3 и 4. E определялась по двум смежным значениям D_t из уравнения (2). Полученные значения D_t и E , а также значения D_{273} , экстраполированные по уравнению (2), сведены в табл. 1.

Таблица 1

Фаза	Образец № 1				Образец № 2			
	$t, ^\circ\text{C}$	$D_t, \text{см}^2/\text{сек}$	$E, \text{кал/моль} \cdot \text{град.}$	$D_{273}, \text{см}^2/\text{сек}$	$t, ^\circ\text{C}$	$D_t, \text{см}^2/\text{сек}$	$E, \text{кал/моль} \cdot \text{град.}$	$D_{273}, \text{см}^2/\text{сек}$
I	500	$10 \cdot 10^{-12}$		По $E_{\text{ср}} = 33600$	500	$10 \cdot 10^{-12}$		
	600	$1,4 \cdot 10^{-11}$	35600		600	$1,5 \cdot 10^{-11}$	36600	$4,1 \cdot 10^{-29}$
	700	$9,5 \cdot 10^{-11}$	32600					
	800	$4,5 \cdot 10^{-10}$	32700	$7,4 \cdot 10^{-28}$				
II	900	$8 \cdot 10^{-13}$		По $E_{\text{ср}} = 98000$	700	$5 \cdot 10^{-13}$		По $E_{\text{ср}} = 39000$
			93000				37300	
	1000	$1,8 \cdot 10^{-11}$		$1,3 \cdot 10^{-72}$	800	$3 \cdot 10^{-12}$		
			103000				40500	
III	1100	$3,5 \cdot 10^{-10}$			900	$1,5 \cdot 10^{-11}$		
							39100	$3,4 \cdot 10^{-35}$
					1000	$6 \cdot 10^{-11}$		
					1100	$1,5 \cdot 10^{-11}$		

Из табл. 1 видно, что каждая фаза в отдельности действительно характеризуется присущим только ей значением E . Следовательно, при данных температурах выделение A^{40} происходит путем диффузии. Однако на сохранности A^{40} в полевых шпатах диффузия практически не может сказаться, что следует из приведенных для каждой фазы значений D_{273} . Все потери A^{40} в геологическом времени могут происходить только за счет процессов выделения из «нулевой» фазы (неустойчивой зоны). Все кривые диффузии первой фазы на рис. 3 и 4 происходят не из начала координат, а отсекают на оси ординат отрезки (тонкие линии), свидетельствующие о наличии дополнительных потерь A^{40} , обусловленных, возможно, частичным растрескиванием зерен полевого шпата при нагреве (ср. (2)). Все кривые II фазы приходят в начало координат.

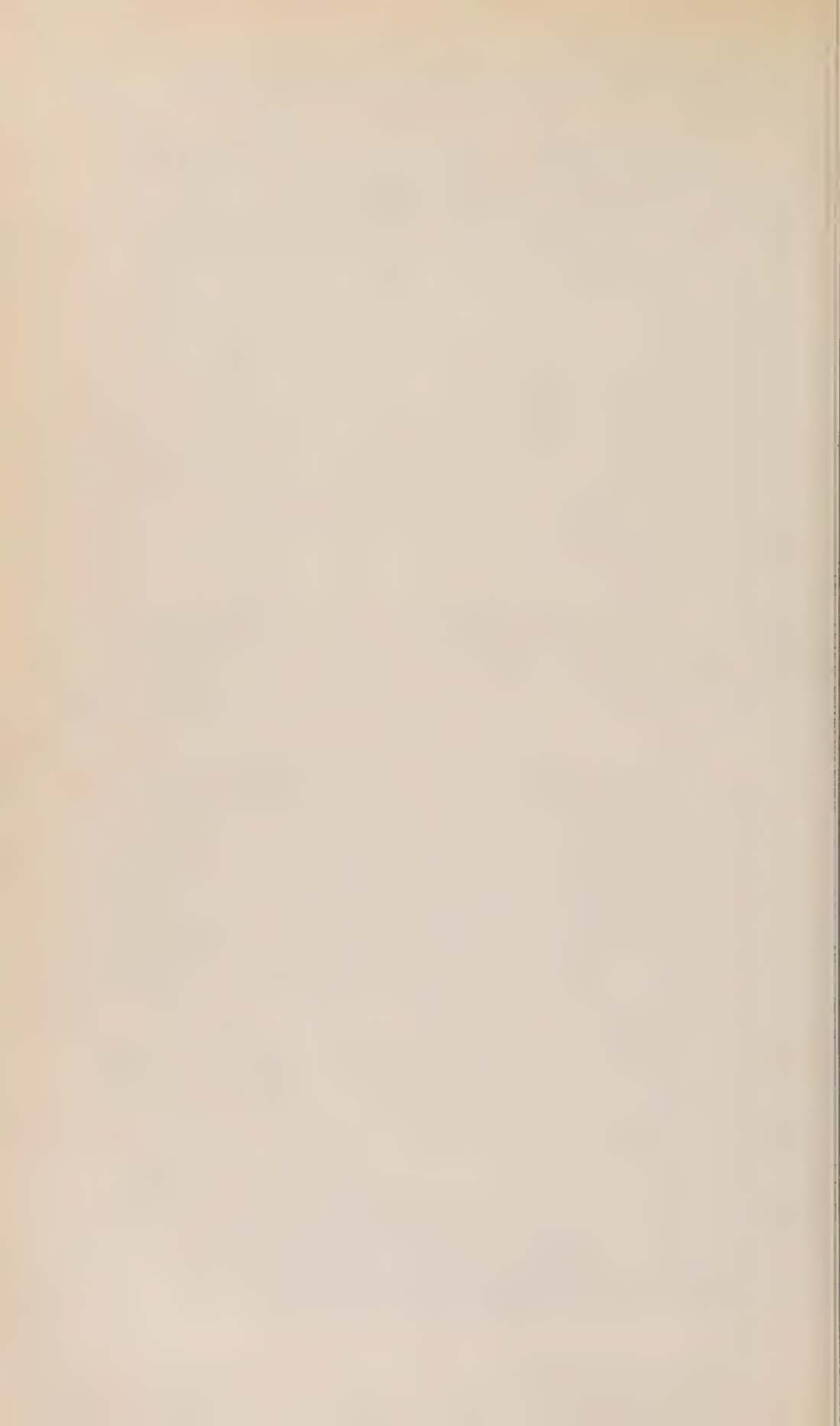
Число и конфигурация фаз в обоих образцах различны, и ими, очевидно, не исчерпывается все многообразие полевых шпатов. Возможно, что различие образцов обусловлено их местом на фазовой диаграмме ортоклаз—альбит. Некоторое подтверждение данной точки зрения мы усматриваем в различном соотношении в них K и Na (образец № 1 K 10,27%, Na 0,94%; образец № 2 K 9,84%, Na 2,82%).

Дагестанский филиал
Академии наук СССР

Поступило
29 XII 1958 г.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. H. Reynolds, Geochim. et cosmochim. acta, 12, 177 (1957). ² N. Nodack, G. Zeitlev, Zs. Elektrochem., 60, 9/10, 1192 (1956). ³ X. И. Амирьянов, С. Б. Брандт, Определение абсолютного возраста пород, Махачкала, 1956.



Е. А. БАБУРИНА и Н. Д. КОВАЛЕВА

СТРОЕНИЕ СЕТЧАТКИ ГЛАЗ КАСПИЙСКИХ КИЛЕК

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 7 I 1959)

Каспийские кильки: анчоусовидная — *Clupeonella engrauliformis* (Borodin), большеглазая *C. grimmi* Kessler и обыкновенная *C. peonella delicatula caspia* Svetovidov, строение глаза которой изучалось раньше (¹), представляют собой близко родственные виды, несколько различающиеся между собой по экологии (²⁻⁸). Целью нашей работы было выявление структурных видовых особенностей сетчатки глаз анчоусовидной и большеглазой килек, сравнение глаз этих килек с глазом обыкновенной кильки и, по возможности, выяснение биологического значения различий между этими видами по строению их сетчатки. Материал был любезно предоставлен нам Л. А. Чаяновой.

Относительные к длине тела размеры глаз у каспийских килек неодинаковы (табл. 1).

По внешнему виду глазного яблока, строению склеры, роговицы, сосудистой оболочки, фокусирующего аппарата и зрительного нерва все три

Т а б л и ц а 1

Относительные размеры глаз каспийских килек
(в процентах к длине тела)

Вид кильки	Диаметр глаза		Диаметр зрачка	
	горизонт.	вертик.	горизонт.	вертик.
Анчоусовидная	5,2	4,9	2,8	3,2
Большеглазая	7,3	7,0	3,8	4,2
Обыкновенная	6,4	5,8	3,0	3,3

вида килек вполне сходны между собой. Не отличаются существенно каспийские кильки друг от друга также и по внешнему виду глазного дна и по расположению в нем хориоидальной щели (¹).

По строению пигментного эпителия сетчатки между кильками также нет существенных различий. В клетках пигментного эпителия шаровидных частиц меланина мало; почти весь меланин представлен палочковидными его частицами, что говорит о высокой степени развития ретиномоторной реакции глаза (⁹). Колбочки у всех килек парные. Палочки тонкие и длинные. Ядра колбочковых и палочковых зрительных клеток отчетливо дифференцированы между собой как по различному расположению в наружном ядерном слое, по величине и форме, так и по структуре ядерной сети. Ядра колбочек во всей сетчатке, кроме *area centralis*, располагаются во внешней части наружного ядерного слоя, ядра палочек составляют более внутреннюю часть этого слоя. Ядра колбочек большие, продолговатые, с рыхлой хрома-

тиновой сетью; ядра палочек большей частью эллипсоидальные, иногда округлые, с очень плотной хроматиновой сетью. В *area centralis* ядра колбочек находятся в средней части слоя, а ядра палочек располагаются во внешней и с внутренней стороны от этих ядер. Отчетливые различия между кильками обнаружены в величине поперечников колбочек и в связи с ней густоте их распределения на поверхности сетчатки; наиболее же значительна разница между ними по степени дифференциации *area centralis* отношению к остальной сетчатке.

Строение передней, верхней и задней четвертей дна глаза у каждой килек близко сходно, но значительно отличается от строения нижней четверти дна (*area centralis*), в связи с чем далее нижнюю четверть дна глаза или *area centralis* мы будем сравнивать только с верхней четвертью дна. В верхней части глаза колбочки крупные, и густота их распределения, судя по количеству их на единицу длины радиального среза сетчатки (100 μ), значительно меньше, чем в нижней части глаза (табл. 2). Самые больш

Таблица 2

Число различных клеток сетчатки на 100 μ радиального среза

Вид кильки	Верхняя часть дна глаза					Нижняя часть дна глаза				
	колбочки	палочки	горизонт. клетки	клетки внутр. ядерн. слоя	ганглиозн. клетки	колбочки	палочки	горизонт. клетки	клетки внутр. ядерн. слоя	ганглиозн. клетки
Анчоусовидная	8,3	238,1	3,5	38,7	3,2	23,7	21,6	22,8	204,5	21,6
Большеглазая	5,8	228,0	2,7	32,0	5,1	10,4	117,0	11,7	78,3	6,1
Обыкновенная	6,6	216,0	2,4	27,8	2,2	20,1	28,0	22,5	219,0	20,1

колбочки в верхней четверти глаза имеет большеглазая килька, самые маленькие — анчоусовидная. По густоте распределения палочек в верхней четверти глаза все кильки мало отличаются между собой; несколько большее количество палочек, чем у других килек, на единицу длины радиального среза сетчатки насчитывается у анчоусовидной кильки, а несколько меньше — у обыкновенной.

Наибольшая густота распределения колбочек отмечается у анчоусовидной кильки, наименьшая — у большеглазой. Обыкновенная килька по строению *area centralis* близка к анчоусовидной кильке, что показывается также и распределение в ней палочек и клеток более глубоких слоев сетчатки. У этих килек количество колбочек на единицу длины радиального среза сетчатки в *агеа* по сравнению с остальной сетчаткой резко увеличено, а вместе с тем увеличено и количество клеток внутреннего ядерного и ганглиозного слоев сетчатки. Это говорит об уменьшении суммации зрительных раздражений в *агеа*, а вместе с тем — о повышении остроты зрения (19).

У большеглазой кильки *area centralis* не так резко отличается по строению от остальной сетчатки, как у других килек. Если у обыкновенной и анчоусовидной килек колбочек в *агеа* на единицу длины радиального среза сетчатки три раза больше, чем палочек, то у большеглазой кильки — только в два раза. У первых двух видов в центре *агеа* палочек совсем нет, в среднем же палочек в 10 раз с лишним меньше, чем в остальной сетчатке. У большеглазой кильки палочек в *агеа* только в два раза меньше, чем в остальной сетчатке. У анчоусовидной и обыкновенной килек сетчатка в *агеа* значительно толще, чем в остальной части дна глаза; у большеглазой кильки эта разница не так велика.

Можно сказать, что судя по количеству колбочек на единицу длины радиального среза сетчатки (а следовательно и на единицу поверхности сетчатки) наивысшей степени развития достигает *area centralis* (retina

у анчоусовидной кильки, обыкновенная же килька по структуре этой области сетчатки приближается к анчоусовидной. Слабее выражена дифференциация *area centralis* у большеглазой кильки (рис. 1).

Биологическое значение структурных особенностей сетчатки каждой из каспийских килек вскрывается в свете новых экологических данных относительно этих видов.

Высокая дифференциация *area centralis retinae* глаза анчоусовидной кильки используется ею при питании в условиях яркого освещения: она может захватывать пищу с выбором определенных объектов (¹¹). Использованию *area centralis* способствует интенсивно выраженная у этой кильки

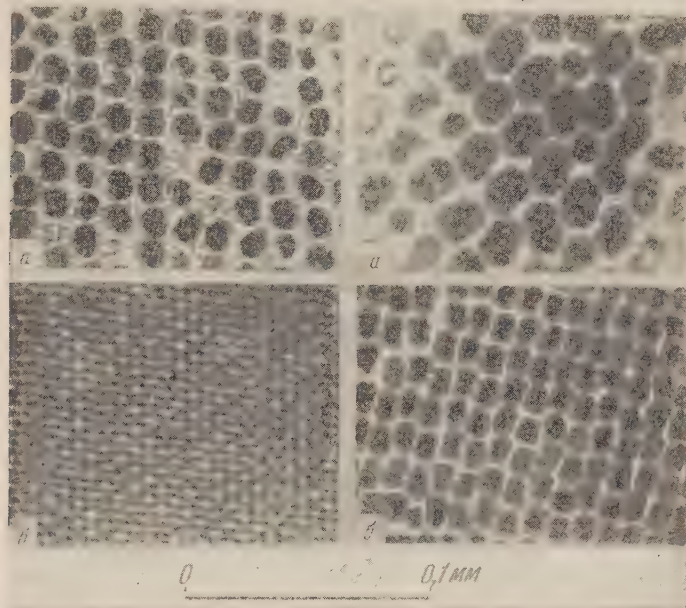


Рис. 1. Поперечные срезы колбочек на уровне средней части эллипсоидов: А — анчоусовидная килька; Б — большеглазая килька, а — верхняя часть дна глаза, б — нижняя часть дна глаза (*area centralis*)

положительная реакция на свет. Вместе с тем, несколько более высокая, чем у обыкновенной кильки и тем более — у большеглазой, густота распределения рецепторов вне *area* у анчоусовидной кильки дает ей возможность точнее ориентироваться и захватывать пищу также и на значительной глубине. Действительно (⁵), анчоусовидная килька, совершая вертикальные миграции, придерживается в течение всего года больших глубин, чем обыкновенная килька. В связи с этим глаза анчоусовидной кильки имеют довольно высокую остроту зрения в большем диапазоне освещенности, чем глаза других видов килек.

У большеглазой кильки *area centralis* не достигает такой высокой степени дифференциации, как у других килек, а в остальной сетчатке рецепторы расположены с меньшей густотой, чем у анчоусовидной кильки. Это связано с захватыванием пищи большеглазой килькой преимущественно на значительной глубине (^{3, 5}) в условиях слабого освещения, где не может быть использована высокая зрительная острота, определяющаяся высокой степенью развития *area centralis*.

Известно, что большеглазая килька питается более крупными планктонными организмами (³), чем другие кильки. Низкая дифференциация *area*

указывает также на ограниченные возможности выбора этой килькой определенных видов в массе встречающегося планктона при захватывании ею пищи. Большие глаза нужны этой кильке для более полного использования слабого освещения на значительной глубине, где она преимущественно держится. В связи с тем, что эта килька захватывает пищу главным образом при слабом освещении и *area centralis retinae* развита у нее слабее реакция на свет у этой кильки выражена значительно слабее, чем у других.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
30 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. А. Бабурин, ДАН, 102, № 3 (1955). ² Л. А. Чаянова, Тр. Всесоюз. научно-исслед. инст. морск. рыбн. хоз. и океаногр., 14, 109 (1940). ³ А. А. Ловецкая, Каспийские кильки и их промысел, М., 1951. ⁴ А. А. Ловецкая. Тр. совещ. по физиол. рыб, 1956, стр. 121. ⁵ А. А. Ловецкая, Н. И. Чугунова, На- ставление по эхолотной разведке кильки и сельди на Каспийском море, М., 1956, стр. 1. ⁶ А. Ф. Лексуткин, Б. И. Приходько, Рыбн. хоз., № 12 (1951). ⁷ В. И. Приходько, Рыбн. хоз., № 4 (1954). ⁸ Б. И. Приходько, Рыбн. хоз., № 10 (1957). ⁹ W. Wunder, Zs. f. vergl. Physiol., 3, 1 (1925). ¹⁰ I. Z. Wallis, Cranbrook Inst. Sci., Michigan, (1942). ¹¹ V. Vilter, C. R. Soc. Biol., 144, № 3—4, 200 (1950).

С. И. АЛИХАНЫЯ и В. Г. ЖДАНОВ

**ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ
И ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ НА МУТАЦИИ В ПОЛИГЕННЫХ
СИСТЕМАХ МИКРООРГАНИЗМОВ (ПРОДУЦЕНТА ЭРИТРОМИЦИНА
ASTINOMYCES ERYTHREUS)**

(Представлено академиком Н. В. Цициным 24 XII 1958)

Еще в 1948 г. Свэнсону и Гудгалу (¹) на *Aspergillus terreus* удалось показать возможность повышения частоты мутаций, вызываемых у.-ф. лучами, путем предварительной обработки конидий слабым водным раствором азотистой формы иприта: бис-β-хлорэтилметиламин·HCl (МБА). Хотя азотистая форма иприта в концентрации 0,1% и не индуцировала мутаций, тем не менее, проникая в ядро споры и вступая в химическую реакцию с содержимым ядра и плазмы, определяющим наследственность, она делает их более мутабельными при обработке у.-ф. лучами. В этом случае частота мутаций значительно увеличивалась, и пик достигался раньше, чем при применении одних только у.-ф. лучей. В ряде случаев наблюдалось увеличение частоты мутаций в 300—400 раз по сравнению со спорами, обработанными только у.-ф. лучами.

Свэнсоном же было показано различие между действием у.-ф. и рентгеновских лучей на споры *Asp. terreus*, предварительно обработанных МБА (²). При действии рентгеновских лучей частота мутаций не изменялась по сравнению с воздействием рентгеновскими лучами без МБА.

Комбинированное действие этиленимина (ЭИ) и у.-ф. лучей на мутационный процесс у продуцентов ауреомицина — *Streptomyces aureofaciens* штамм № 112 и стрептомицина — *Streptomyces griseus* штамм ЛС-1 (*Act. globisporus streptomycini*) впервые описано в работе (³). Если при раздельной обработке спор *S. griseus* этиленином и у.-ф. лучами частота морфологических мутаций в обоих случаях равнялась 4%, то при обработке у.-ф. → ЭИ частота морфологических мутаций увеличивалась до 8,5%, а при комбинации ЭИ → у.-ф. уже до 13,5%.

Представляло интерес изучение влияния комбинированного воздействия этиленимина, рентгеновских и у.-ф. лучей на отбор для усиления образования антибиотика. Объектом исследования служил штамм № 221 *Act. erythreus*, продуцирующий антибиотик эритромицин. Активность исходного штамма № 211 достигала всего лишь 450—500 единиц (с пропиловым спиртом в качестве предшественника).

Источником рентгеновских лучей служила близкофокусная трубка с бериллиевым фильтром аппарата РУМ-7; облучение проводилось при 60 кв и 20 ма. Источником у.-ф. лучей служила уже описанная лампа БУВ-15 (⁴).

В опытах применялись следующие комбинации: ЭИ → у.-ф.; у.-ф. → ЭИ; ЭИ → Х-лучи; Х-лучи → ЭИ.

Обработке подвергались споры, суспендированные в дистиллированной воде. Споры выдерживались в концентрации 1:15000 этиленимина в течение 24 и 48 час. при температуре от 3 до 5° и затем подвергались воздействию у.-ф. лучей (дозы от 250 до 2000 эрг/мм²) или рентгеновских лучей (дозы от 50 до 300 кг).

Таблица 1

Влияние комбинированного действия этиленимина и рентгеновских лучей на жизнеспособность и мутационный процесс у *Act. erythreus* (штамм 211)

Доза Х-лучей (кг)	ЭИ 1 : 15000, 24 часа						ЭИ 1 : 15000, 48 часов					
	Х-лучи			Х-лучи → ЭИ			Х-лучи → ЭИ			Х-лучи → ЭИ		
	а		б	а		б	а		б	а		б
	а	б		а	б		а	б		а	б	
50	4,5	44,1	25,7	8,6	4,1	23	12,4	4,6	10 ⁻¹	1,84	10 ⁻²	12,9
75	1,9	43,8	25,7	8,6	1,65	10 ⁻²	13,9	1,14	10 ⁻²	1,45	10 ⁻²	44,5
100	4,3	45,8	25,7	8,6	1,9	10 ⁻²	17,0	1,63	10 ⁻³	1,1	10 ⁻²	19,5
150	1,9	48,9	25,7	8,6	1,14	10 ⁻³	19,8	1,84	10 ⁻⁴	1,6	10 ⁻³	20,3
200	1,9	47,6	25,7	8,6	1,26	10 ⁻⁴	22,0	1,8	10 ⁻⁴	1,9	10 ⁻⁴	21,0
300	1,6	44,3	25,7	8,6	1,9	10 ⁻⁵	16,3	1,5	10 ⁻⁵	0,0	—	—
Контроль	100	2,3										

Примечание. а — выживаемость в процентах, б — изменчивость в процентах.

Контролем служили опыты по обработке спор только у.-ф. лучами, этиленимином, рентгеновскими лучами и, наконец, споры, не подвергшиеся никакому воздействию. Оценка активности штамма производилась путем ферментации на соевой среде следующего состава (в процентах); соевая мука (необезжиренная) 2, кукурузный экстракт 0,25 (по сухому весу) глюкоза 2, NaCl 0,25, CaCO₃ 0,2, кашалотовый жир 0,3, пропиловый спирт 0,2 (дается перед посевом в колбу).

При комбинированной обработке спор штамма 211 этиленимином и у.-ф. лучами как по выживаемости, так и по изменчивости были получены результаты, сходные с результатами, полученными на *Streptomyces aureofaciens* и *Streptomyces griseus* ⁽³⁾. Результаты опыта по выживаемости и изменчивости *Act. erythreus* штамма 211 при комбинированной обработке этиленимином и рентгеновскими лучами приведены в табл. 1.

Если, воздействуя у.-ф. лучами на споры, предварительно обработанные этиленимином, мы получили синергидный эффект, то при воздействии рентгеновскими лучами на споры, предварительно обработанные этиленимином, частота мутаций дает суммарный эффект. Однако не только в этом отличии комбинации рентгеновских лучей и этиленимина: в этом случае частота мутаций остается на уровне частоты мутаций, возникшей от первого фактора (рентгеновского облучения). Таким образом, налицо антагонистический эффект. Можно предположить, что этиленимин не вызывает мутаций у спор, обработанных рентгеновскими лучами, тогда как при обработке этиленимином спор, облученных у.-ф. лучами, обнаруживается суммарный эффект.

Наряду с повторением результатов работы ⁽³⁾ по комбинированному воздействию этиленимина и у.-ф. лучей на споры *Act. aureofaciens* и *Str. griseus*, у *Act. erythreus* была выявлена резко отличная картина воздействия на мута-

ционный процесс комбинации рентгеновских лучей и этиленimina. Эти опыты дают основание считать резко отличным механизм вызывания мутаций под действием у.-ф. и рентгеновских лучей.

Варианты, полученные при обработке спор вышеуказанными агентами, проверялись по признаку антибиотикообразования. Было проверено около 4500 вариантов. После первичной проверки из них было отобрано 250 вариантов, активность которых превышала контроль более чем на 70% и которые проверялись уже во втором пассаже. Из них было отобрано 27 вариантов, которые проверялись в 3 пассаже. В табл. 2 приведены данные

Таблица 2

Факторы воздействия	Число проверенных вариантов	Число отобранных вариантов	% отобранных вариантов
Без воздействия	200	0	0
У.-ф. лучи	200	1	0,5
У.-ф. лучи	290	3	1,0
Этиленимин	485	1	0,2
У.-ф. → ЭИ	690	5	0,7
И → у.-ф.	526	9	1,7
У.-ф. → ЭИ	1235	2	0,16
И → Х-лучи	793	6	0,7
	4419	27	0,64

Таблица 3

№ варианта	Комбинация	Число испытан. колб	Средняя активность (в ед./мл)	Превышение активности в %
211 (исходн.)	—	10	503	
2577 (лучш.)	ЭИ → у.-ф.	10	1101	118
	ЭИ	10	849	68
	У.-ф.	10	815	62
	Р	10	910	80
	ЭИ → Р	10	1034	106
	Р → ЭИ	10	929	84
	У.-ф. → ЭИ	10	1000	98

частоте возникновения активных вариантов у *Act. erythreus* при обработке спор различными факторами.

В результате тщательной проверки вышеуказанных 27 вариантов был отобран один вариант № 2577, превышающий по активности исходный штамм лабораторных условиях на 75—100%. Полученный вариант принадлежал числу девяти вариантов, отобранных в опыте ЭИ → у.-ф.

Результаты проверки активности некоторых новых штаммов, полученных в вышеописанных опытах, в том числе и ЛС-Э2577 из опыта ЭИ → у.-ф., приведены в табл. 3.

Из приведенных данных с несомненностью вытекают следующие выводы.

1. В наших опытах наследственно стойкие активные варианты удалось получить только в опытах с воздействием на споры мутагенных факторов, тогда как без воздействия найти активные формы не удалось.

2. Наиболее эффективной комбинацией для получения мутационных изменений в полигенной системе у *Act. erythreus* является комбинация этиленимин → у.-ф. лучи, давшая также максимальный процент морфологических мутаций. Совпадение результатов приведенных опытов по морфологическим признакам с результатами, полученными ранее ⁽³⁾ у *A. aureofaciens* и *Str. griseus*, дает нам основание считать такую комбинацию мутагенов наиболее эффективной. Для окончательного же вывода о ли приведенной комбинации мутагенов при использовании их в селекции количественных признаков необходимо испытать ее на продуценте другого антибиотика

Всесоюзный научно-исследовательский институт антибиотиков

Поступило
22 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. Р. Swanson, S. H. Goodgal, *Genetics*, **33**, 1, 127 (1948). ² С. Р. Swanson, *Cell. Comp. Physiol.*, **39**, 1 (1952). ³ С. И. Алиханян, С. Ю. Гольдат, Ф. Тетерятник, *ДАН*, **115**, № 5 (1957). ⁴ Л. И. Ерохина, С. И. Алиханян, *ДАН*, № 3 (1956).

Г. И. ГОРЯЧЕВА

О СВОЕОБРАЗНОМ АЛЬГОЛОГИЧЕСКОМ ТИПЕ РАВНИННОЙ РЕКИ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 15 I 1959)

Известно, что на основании характерных особенностей альгофлоры Д. О. Свиренко⁽⁵⁾ и Я. В. Ролл⁽⁴⁾ все изученные равнинные реки СССР разделяют на три типа: крупные равнинные реки, торфяно-болотные реки и реки степные. При изучении альгофлоры р. Оми (правого притока Иртыша) встретилась трудность отнесения Оми к какому-либо из вышеуказанных типов рек.

Омь начинается в Новосибирской обл., в торфяных болотах, заросших непролазным лесом — «урманом». Болот много и в бассейне Оми, где они занимают значительные пространства. Притоки Оми также выходят из болот и текут по болотистой местности^(6,2). Влияние болот сказывается на характере воды Оми, которая вследствие этого очень богата гуминовыми веществами и имеет желто-бурый цвет. На окисление гуминовых веществ идет много кислорода, и в придонных слоях ощущается его недостаток. Прозрачность воды Оми очень низкая.

Несмотря на то, что Омь начинается в торфяных болотах и далеко по своему течению испытывает влияние болот, ее все же нельзя отнести к торфяно-болотным рекам вследствие богатства ее воды растворенными солями. Эта особенность Оми объясняется тем, что местность, по которой течет эта река, не только заболочена, но и богата солончаками⁽⁷⁾. Особенно сильно засоленным является полустепное пространство Барабы, в пределах которого находится нижнее течение Оми. Вода Оми очень богата карбонатами, хлоридами и сульфатами кальция, натрия, магния⁽¹⁾. П. А. Горюжников⁽³⁾ указывает, что содержание солей в реках в среднем обычно равно 80—150 мг/л, в Оми же оно колеблется от 206 до 880 мг/л.

Таким образом, в Оми мы видим своеобразное сочетание влияния торфяных болот и солончаков, которое сообщает двойственный характер реки, обуславливая одновременно богатство воды солями и гуминовыми веществами. Это накладывает своеобразный отпечаток на характер ее альгофлоры и не дает возможности полностью отнести Омь ни к типу торфяно-болотных рек, ни к типу степных рек.

Имея богатую солями воду, Омь, как показали, четырехлетние исследования, некоторыми чертами своей альгофлоры напоминает степные реки. Так, подобно рекам Европейской части Союза, Омь имеет качественно богатую флору водорослей — 195 видов и разновидностей (96 планктонных и 99 донных форм.). Среди донных водорослей Оми преобладают диатомовые, которые представлены 89 видами и разновидностями. Сходство со степными реками состоит также в том, что среди диатомовых довольно много солоноватоводных видов (28%). Так же как в приазовских степных реках, здесь больше встречается солоновато-пресноводных форм и меньше солоноватоводных, но в отличие от степных рек в обрастаниях Оми пышно развивается кладофора. Следующая черта сходства Оми со степными реками заключается в том, что в ней полностью отсутствуют перидини и крайне мала р

хризомонад, из которых за все годы исследований был встречен лишь один *Dinobryon divergens*, и то в очень небольшом количестве.

Однако, наряду с чертами сходства, между альгофлорой Оми и флорой водорослей степных рек имеются и отличия. Так, если для планктона степных рек характерно преобладание диатомовых водорослей, качественная и количественная бедность протококковых, а также очень малая роль или полное отсутствие синезеленых, то этого нельзя сказать о планктоне Оми. Здесь отмечается сравнительное разнообразие групп, причем наиболее богато в систематическом отношении представлены протококковые водоросли (30 видов и разновидностей). Диатомовые в фитопланктоне занимают второе место (22 вида и разновидности). Вместе с диатомеями, в смысле разнообразия видового состава, второе место занимает и группа синезеленых (21 вид и разновидность), тогда как в степных реках синезеленых очень мало или они совсем отсутствуют.

В количественном отношении протококковые и синезеленые также не отличаются какой-либо особой бедностью на общем фоне. Но следует отметить, что в Оми вообще нет благоприятных условий для развития всех планктонных водорослей. Низкая прозрачность воды, а в некоторые годы еще и значительная скорость течения неблагоприятно отражаются на развитии всех планктонных организмов. Однако в периоды, когда эти неблагоприятные условия менее резко выражены, а именно когда несколько увеличивается прозрачность, уменьшается скорость течения, и когда повышается температура воды, ряд форм из протококковых и синезеленых водорослей достигает значительного развития, что не свойственно типичным степным рекам.

Так, в период расцвета жизни планктона, который в Оми длится с июля до второй половины октября, значительной вегетации достигают иногда *Pediastrum Boryanum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Microcystis pulverea* f. incerta, *Snowella rosea*.

Д. О. Свиренко ⁽⁵⁾ в качестве характерной особенности степных рек отмечает отсутствие в них форм с массовым развитием. В этом отношении Омь также отличается от степных рек; в ней, хотя и не во все годы, но все же отмечалось массовое развитие в планктоне таких водорослей, как *Melosira granulata* v. *angustissima*, *Oscillatoria limosa*, *Anabaena filis-aquae* f. *Aptecariana*; последняя однажды вызвала даже «цветение» воды. В обрастаниях преобладают диатомеи, среди которых тоже имеются формы, дающие массовое развитие, например, *Diatoma vulgare*, *Synedra tabulata*.

Отличительной чертой фитопланктона Оми, по сравнению с планктоном степных рек, является и относительно разнообразный состав десмидиевых водорослей, что можно связать с влиянием на Омь торфяных водоемов. Десмидиевые в Оми представлены родом *Closterium* (14 видов и разновидностей на 96 планктонных форм). Но в отличие от рек торфяно-болотного типа, где десмидиевые развиваются очень обильно, в Оми они встречаются в небольшом количестве или даже единичными экземплярами. В нижнем течении реки, это, по-видимому, преимущественно транзитные формы.

Таким образом, р. Омь, испытывающая на себе влияние торфяных болот и одновременно солончаковых почв, по характеру своей альгофлоры не может быть отнесена ни к типу торфяно-болотных рек, ни к типу степных рек, описанных в литературе, хотя с последними у нее и имеются некоторые черты сходства. В нижнем течении Омь можно назвать болотно-степной рекой, для которой характерно сочетание комплекса солоноватоводных диатомей и сравнительного разнообразия других групп водорослей, в том числе небольшого количества десмидиевых.

В определении характера альгофлоры реки болотно-степного типа ведущая роль принадлежит, по-видимому, солям. Они ограничивают развитие десмидиевых и приводят к развитию солоноватоводных диатомей. Сравнительное же разнообразие в реке этого типа систематического состава дру-

гих групп (протококковых, синезеленых) и наблюдающееся временами массовое развитие ряда форм являются, вероятно, результатом не такой большой солености, как в южных степных реках.

В настоящей торфяно-болотной реке, как и в настоящей степной, круг видов, который в них может развиваться, конечно, сильно сужен. В каждом из этих типов рек могут вегетировать лишь специализированные формы. Омь же не является водоемом с такими узкими экологическими гранями, поэтому здесь наряду с комплексом солоноватоводных диатомей наблюдается развитие и синезеленых, и других групп водорослей.

Можно предположить, что Омь не единственная река, которая по химизму воды и характеру своей альгофлоры принадлежит к типу болотно-степных рек. Такими же свойствами, вероятно, обладают и еще некоторые притоки Иртыша и Оби.

Омский государственный медицинский
институт им. М. И. Калинина

Поступило
11 VII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Гантимуров, Тр. Омского мед. инст. им. М. И. Калинина, № 18 (1952).
² М. А. Петрова, Река Иртыш и река Омь как источники водоснабжения гор. Омска и водоемы для спуска сточных вод, Омск, 1926. ³ П. А. Пирожников, Исследование и использование водоемов Сибири, М., 1932. ⁴ Я. В. Ролл, Десмидиевые водоросли, найденные в водоемах Лапландии и Олонецкой губернии, Вологда, 1923.
⁵ Д. О. Свиренко, Русск. арх. протистол., 5, 1—2 (1926). ⁶ В. П. Семенов-Тянь-Шанский и др., Россия. Полное географич. описание нашего отечества, 16, Западная Сибирь, 1907. ⁷ П. Степанов, Записки Запад.-Сибир. отд. императ. русск. географич. общ., 8, 1, Омск, 1886.

М. Н. ЗАПРОМЕТОВ

О СПОСОБНОСТИ К РАСЩЕПЛЕНИЮ БЕНЗОЛЬНОГО КОЛЬЦА У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

ГЛУБОКОЕ ОКИСЛЕНИЕ C^{14} -КАТЕХИНОВ В ПОБЕГАХ ЧАЯ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 I 1959)

Давно известно, что многие микроорганизмы способны окислять разнообразные полифенолы (в том числе и полициклические) и тем самым использовать запасенную в этих соединениях энергию (1^{-4}). Окисление сопровождается разрывом бензольного кольца. Одним из ближайших продуктов окисления является нециклическая цис-цис- β -карбоксимуконовая кислота, которая далее превращается в β -кетoadипиновую кислоту и затем в янтарную или щавелевую кислоту ($5, 6$). Показано также, что животные ткани окисляют ароматические аминокислоты *l*-тирозин и *l*-фенилаланин до яблочной кислоты и кетонного тела или до ацетоуксусной и фумаровой кислот ($7, 8$). В последнее время было найдено (9), что в различных органах кролика (особенно в почках и печени) содержится ферментная система, осуществляющая в аэробных условиях глубокое окислительное расщепление флавоноидов рутина и кверцетина.

По отношению к высшим растениям подобные данные отсутствуют. Между тем здесь вопрос о расщеплении бензольного кольца имеет особенно важное значение, так как именно высшие растения синтезируют и накапливают огромное разнообразие полифенольных соединений, причем роль последних в обмене веществ до сих пор окончательно не выяснена. Участие олифенолов в качестве переносчиков водорода в процессах дыхания требует присутствия лишь каталитических количеств подобных соединений, а любое же растение, например, накапливает до 30% на сухой вес дубильных веществ.

Ранее ($10, 11$) нами было высказано предположение, что чайное растение обладает способностью расходовать полифенольные соединения (катехины), извлекая содержащуюся в них энергию. Настоящее сообщение экспериментально подтверждает это положение.

Для получения меченных C^{14} -катехинов трехлистные побеги чая (флешы) экспонировали на свету в атмосфере, содержащей $C^{14}O_2$, в течение 3 час. Высушенный материал извлекали в приборе Сокслета последовательно метилбензолом—хлороформом (1 : 1) и свежеперегнанным уксусноэтиловым эфиром. Полученный ранее описанным способом (12) из уксусноэтиловой вытяжки препарат катехинов смешивали с равным объемом кварцевого песка и дополнительно извлекали хлороформом. Песок удаляли просеиванием, и остаток многократно растирали с небольшими порциями влажного, свободного от перекисей серного эфира. Объединенные эфирные вытяжки высушивали в вакууме. Сухой остаток представлял собой (12) смесь меченых C^{14} *l*-эпикатехина, *l*-эпигаллокатехина и их галловых эфиров. Активность такого препарата, измеренная на торцовом счетчике, составляла 700 имп/мин·мг.

Полученный препарат использовали для введения в молодые трехлистные побеги чайного растения путем либо вакуум-инфильтрации, либо засасывания через срезы стеблей. В первом случае 20 побегов инфильтрировали раствором C^{14} катехинов (100-мл). Инфильтрированные побеги подсушивали в токе воздуха и по достижении нормальной влажности помещали в темноте в вакуумэксикатор, снабженный двумя отверстиями для просасывания воздуха.

Во втором случае 18 побегов помещали срезами в две кюветы изplexiglassа с раствором C^{14} -катехинов (по 4—5 мг). Кюветы обертывали двумя

Т а б л и ц а 1

Выделение $C^{14}O_2$ трехлиственными побегами чайного растения при их экспозиции в темноте после введения C^{14} -катехинов

Опыт	Экспозиция, час.	Выделение $C^{14}O_2$	
		имл/мин.мг	% к введ. активности
Инфильтрация I	6,5	900	0,75
	12	3 320	2,7
	23,5	6 460	5,3
	31,5	38 000	31,0
	50	90 800	74,2
Инфильтрация II	28	1 780	1,3
	34	5 130	3,7
	45,5	8 770	6,3
	53,5	62 340	44,8
	69	102 000	73,4
Засасывание	20	3 800	2,6
	31	7 900	5,5
	42,5	15 400	10,8
	54	42 200	29,6
	68,5	116 600	81,8

слоями бумаги (черной изнутри, белой снаружи) для предотвращения окисления катехинов под действием света помещали под стеклом на солнечный свет. К концу засасывания в кюветы подливали дистиллированную воду. Через 7 час. (почти полное засасывание долитой воды) в кюветы снова добавляли воду и помещали в темноту в эксикатор.

На протяжении 50—70 час. через эксикатор временами просасывали свободный от углекислоты воздух. CO_2 дыхания поглощали насыщенным раствором $Ba(OH)_2$. Осадок $BaCO_3$ отделяли, промывали последовательно этанолом и ацетоном и высушивали до постоянного веса в вакуум-эксикаторе над $CaCl_2$. Точную навеску $BaCO_3$ наносили на латунный диск, и радиоактивность определяли в бесконечно тонком слое на торцовом счетчике.

Следует отметить, что употребление для подобных опытов растворов одних лишь катехинов мало пригодно (особенно в случае засасывания). Видимо, присутствие хотя бы следов окисленных (хиноидных) форм, образу-

ющихся либо вследствие аутоокислации, либо под действием полифенолоксидазы при контакте с растительными тканями, действует токсично на растение. При засасывании таких растворов листья быстро теряют тургор, засасывание вскоре прекращается, и срезы побегов буреют. Предварительные эксперименты показали, что добавление к раствору катехинов аскорбиновой кислоты полностью снимает эти нежелательные явления. Как известно (13), аскорбиновая кислота обладает способностью восстанавливать хиноидные формы катехинов. Поэтому в дальнейшем всюду использовали смесь C^{14} катехинов и аскорбиновой кислоты (400 мг катехинов и 100 мг аскорбиновой кислоты в 200 мл воды).

Первые опыты, носившие качественный характер, были поставлены в 1957 г. Они показали, что по крайней мере некоторая часть радиоактивности введенной в чайные побеги с катехинами, может быть позднее обнаружена в углекислоте дыхания.

В 1958 г. в Анасеули (ГрузССР) были проделаны три подобных опыта уже с количественным учетом C^{14} : два с инфильтрацией и один с засасыванием. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Как можно видеть из табл. 1, окисление C^{14} -катехинов в молодых побегах чайного растения протекает как бы двумя этапами. Во время первого из них, продолжающегося в зависимости от условий (определяемых, по-видимому, проницаемостью) от 25 до 45 час., наблюдается незначительное выде-

ление $C^{14}O_2$, составляющее не более 5—10% от введенного количества C^{14} . На втором этапе (следующие 20—30 час.) происходит быстрое окисление введенных C^{14} -катехинов, причем выделение C^{14} в виде углекислоты дыхания достигает 73—82% от введенного количества C^{14} . В опытах с инфильтрацией выделение $C^{14}O_2$ было несколько меньшим (74,2 и 73,4% от введенного C^{14}), но и в этом случае основная масса C^{14} обнаруживалась в углекислоте дыхания.

На рис. 1 изображены кривые выделения $C^{14}O_2$ в опытах с инфильтрацией и засасыванием.

Обращает на себя внимание пологий ход кривой выделения $C^{14}O_2$ в опыте с засасыванием (б). Это объясняется, по-видимому, более медленным и равномерным поступлением C^{14} -катехинов в листовые пластинки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в молодых побегах чайного растения происходит не только образование катехинов (10), но и использование их в качестве дыхательного материала. При этом бензольные ядра молекул катехинов расщепляются, и их осколки после ряда превращений выделяются в виде углекислоты. Таким образом, наши данные являются прямым доказательством того, что катехины принимают самое активное участие в обмене веществ чайного растения.

Поскольку катехины являются веществами, на образование и накопление которых направлена жизнедеятельность чайного растения, в данном случае нет никаких оснований думать о «детоксикации» (термин, используемый в биохимии животных, а в последнее время и в биохимии растений для обозначения путей обезвреживания токсичных веществ с целью их выведения из организма). Кроме того, вводимые в чайные побеги количества C^{14} -катехинов были весьма малы по сравнению с теми количествами немеченных катехинов, которые в них уже содержались. Так, в опыт с засасыванием было взято 18 трехлистных побегов с хорошо развитыми листьями. Содержание катехинов в них было равно 1,0—1,2 г. Путем же засасывания в эти побеги было дополнительно введено лишь 25 мг C^{14} -катехинов (т. е. 2,0—2,5%).

Можно думать, что в первые 20—30 час. после введения C^{14} -катехинов, когда в листьях имеется достаточное количество сахаров и ассимиляционного крахмала, дыхание срезанных побегов осуществляется главным образом за счет углеводов. По мере истощения легко доступных энергетических источников в обмен вовлекаются более трудно мобилизуемые соединения, которыми в листьях чая являются, по-видимому, катехины. Таким образом, катехины должны рассматриваться не как конечные продукты обмена (или отбросы растительного организма), а как особая форма запасных веществ, характерная для чайного растения.

Установленная нашими опытами способность чайного растения расщеплять бензольные кольца молекул катехинов дает основание предполагать, что и в других высших растениях могут существовать ферментные системы, осуществляющие этот процесс, причем их субстратами будут служить иные полифенольные соединения.

Интересно отметить, что в модельных опытах А. Л. Курсанова и М. Н. Запрометова (14) было показано, что катехины способны окисляться препаратом чайной полифенолоксидазы с выделением CO_2 и с образованием окрашенных

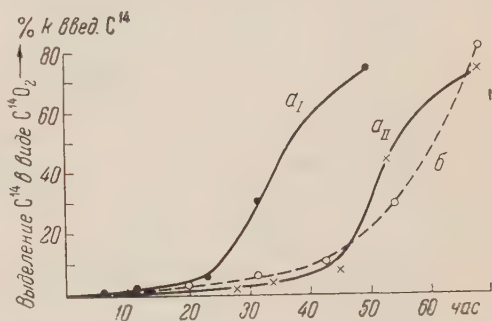


Рис. 1. Выделение $C^{14}O_2$ трехлиственными побегами чайного растения после их инфильтрации (a_I и a_{II}) или после засасывания ими (б) раствора C^{14} -катехинов

продуктов окисления. В последнее время детальный механизм этой реакции изучался Робертсом⁽¹⁵⁾.

Однако в случае полифенолоксидазного окисления выделение CO_2 относительно невелико, и основным продуктом реакции являются окисленные продукты уплотнения катехинов. В листьях же чая, как мы видели, катехины почти полностью окисляются до CO_2 , как бы «сгорают». Это заставляет думать, что путь окисления катехинов в растении, по крайней мере на позднейших этапах, отличен от пути их окисления при ферментации чая.

Ранее автором было показано⁽¹⁶⁾, что убыль катехинов при хранении листьев чая при температуре 5° может быть обнаружена лишь через 130 час. (на 2%). Через 200 час. она достигает 13% и даже продолжает прогрессивно увеличиваться. Естественно допустить, что при 25° процессы окисления будут протекать с большей скоростью, что и было показано изотопными исследованиями.

Следует иметь в виду еще одно обстоятельство. При экспериментальном введении катехины попадают в протоплазму, где сразу же становятся доступными действию соответствующих ферментных систем. Основная же масса катехинов, уже содержащихся в чайных побегах, находится в клеточном соке и поэтому, возможно, подвергается расщеплению лишь по мере их включения в протоплазму.

Автор считает своим долгом выразить благодарность акад. А. Л. Курсанову за интерес к работе и ценные критические замечания.

Институт физиологии растений
им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

Поступило
13 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. О. Таусон, Основные положения растительной биоэнергетики, Изд. АН СССР, 1950. ² О. Hayashi, Z. Hashimoto, Med. J. Osaka Univ., 2, 33 (1950). ³ R. Y. Stanier, B. P. Sleeper, M. Tsuchida, D. L. McDonald, J. Bacteriol., 59, 137 (1950). ⁴ N. N. Feruley, W. C. Evans, Nature, 182, 373 (1958). ⁵ B. A. Kilby, Biochem. J., 49, 671 (1951). ⁶ S. R. Gross, R. D. Gafford, E. L. Tatu, J. Biol. Chem., 219, 781 (1956). ⁷ A. B. Lerner, J. Biol. Chem., 181, 281 (1949). ⁸ W. E. Кнох, M. Le May - Кнох, Biochem. J., 49, 686 (1951). ⁹ K. Lang, H. Weyland, Bioch. Zs., 327, 109 (1955). ¹⁰ М. Н. Запрометов, Физиол. раст., 5, 51 (1958). ¹¹ М. Н. Запрометов, А. Л. Курсанов, Физиол. раст., 5, 310 (1958). ¹² М. Н. Запрометов, Биохимия, 17, 97 (1952). ¹³ А. Л. Курсанов, Синтез и превращения дубильных веществ в чайном растении, Баховское чтение, VIII, Изд. АН СССР, 1952. ¹⁴ А. Л. Курсанов, М. Н. Запрометов, Биохимия, 17, 230 (1952). ¹⁵ E. A. H. Roberts, J. Sci. Food and Agric., 9, 381 (1958). ¹⁶ М. Н. Запрометов, Биохимия чайного производства, в. 6, 110, Изд. АН СССР, 1950.

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. Г. КАРПОВ

**КОНКУРЕНЦИЯ ЗА ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА
И ВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАСАЖДЕНИЯХ
СТЕПНОЙ ЗОНЫ**

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 17 XII 1958)

Для насаждений степной зоны было показано, что рост и состояние подраста под пологом леса существенно улучшаются при устранении влияния корней взрослых деревьев⁽⁶⁾. Тот факт, что это всегда сопровождалось улучшением влагообеспеченности подраста, послужил основой для заключения о крайне острой конкуренции за влагу, которая и рассматривалась в качестве главного фактора, ограничивающего развитие новых поколений леса в насаждениях степной зоны. Заключение это вполне согласуется с совокупностью физиологических данных, полученных при сравнительном изучении водного режима семян, выросших в условиях влияния корней взрослых деревьев и на площадках, где это влияние было исключено обрубкой корней древостоя⁽⁷⁾. И вместе с тем совершенно очевидно, что механизм влияния корней взрослых деревьев на подрост более сложен по своей природе, чем обычно представляется. До сих пор, например, остается открытым вопрос, в какой степени корни взрослых деревьев могут влиять здесь на подрост через изменение условий минерального питания. Обычно принято считать, что в насаждениях степной зоны питательные вещества в почве не находятся в экологическом минимуме. Иными словами, здесь нет одной из важнейших предпосылок для проявления такой формы отношений между растениями, как конкуренция за питательные вещества. Несомненным доказательством этого могут служить данные агрохимических исследований почв степных областей^(5, 11, 13). Оказывается, черноземы, в том числе и южные, содержат в корнеобитаемой толще больше запасы подвижных форм азота, фосфора и калия, чем, например, подзолистые почвы таежной зоны. Кроме того, многочисленные исследования структуры подземных частей насаждений степной зоны показывают, что корнеобитаемый слой почвы здесь значительно мощнее, чем в лесах таежной зоны, где недостаток кислорода в большей части почвенного профиля ограничивает глубину проникновения корней и лишает древостой возможности использовать запасы питательных веществ глубоких горизонтов почвы^(1, 4, 12). Более глубокое проникновение корней в степные почвы позволяет древостою не только полнее использовать запасы почвенной влаги, но также и оглощать питательные вещества из нижней части почвенного профиля. Если основываться на такого рода соображениях, то естественно приходит мысль о том, что конкуренция за питательные вещества в лесах степной зоны не играет существенной роли в ходе возобновительных процессов под пологом леса. Вместе с тем фактических данных, подтверждающих эту рабочую гипотезу, в нашей литературе до сих пор нет.

В связи с этим представлялось интересным проследить влияние корней взрослых деревьев на минеральное питание семян в насаждениях степной зоны. Такие исследования удалось осуществить в 1957 г., когда были про-

ведены химические анализы почвы семян дуба в опытах, заложенных нами еще в 1950 г. в насаждениях зерносовхоза «Белые Пруды» Балашовской обл. Насаждения эти произрастают на южном черноземе в полосе сухих типчаково-ковыльных степей.

Объектами химических анализов служили 6-летние сеянцы дуба и почва опытных площадок, по периферии которых была проведена обрубка корней взрослых деревьев на глубину 1 м. Контрольные определения проводились в сеянцах и почве площадок, не изолированных от влияния корней взрослых деревьев. Контрольные и опытные площадки с посевами дуба были заложены под пологом ясеневое древостоя в возрасте 45 лет и в дубовом насаждении имеющем возраст 25 лет.

Сеянцы дуба анализировались на содержание в них общего азота (по Кьельдалю) и фосфора (калориметрически после полусухого озоления). Подвижный азот в почве определялся по методу Тюрина и Кононовой, подвижный фосфор — методом Труога, а определение подвижных форм калия выполнено по Кирсанову. Образцы семян и почв были взяты одновременно во второй половине августа 1957 г.

Рост сеянцев дуба при конкуренции корней древостоя сильно тормозился. Так, например, средняя высота сеянцев дуба на контрольных площадках под пологом ясеневое древостоя была $10,5 \pm 0,1$ см, а дубового $14,8 \pm 0,2$ см. На площадках с обрубкой корней взрослых деревьев сеянцы имели высоту в ясеневом древостое $98,7 \pm 0,9$ см, а в дубовом $63,8 \pm 0,5$ см.

Как видно из табл. 1, за относительно большой промежуток времени (с 1950 по 1957 г.) произошло заметное снижение содержания общего азота в минеральных слоях почвы площадок, изолированных от влияния корней взрослых деревьев. Такое снижение рельефнее всего прослеживается под пологом дубового насаждения.

Таблица 1

	Глубина, см	Обрубка корней				Контроль			
		N _{общ.} , %	N _{подвижн}	P _{подвижн}	K _{подвижн}	N _{общ.} , %	N _{подвижн}	P _{подвижн}	K _{подвижн}
Насаждение ясеня обыкновенного	0—5	0,54	9,76	15,96	54,6	0,63	10,45	16,46	59,7
	5—10	0,52	7,15	15,96	27,3	0,56	8,50	16,05	41,2
	10—20	0,51	7,15	15,32	25,0	0,51	7,84	15,41	22,7
	20—30	0,47	7,77	15,90	22,6	0,51	6,45	15,87	25,7
	30—40	0,49	7,79	15,00	11,4	0,48	5,83	15,97	13,6
	40—50	0,48	5,80	0,00	6,7	0,48	5,17	0,00	9,0
Насаждение дуба черешчатого	0—5	0,68	9,87	16,25	36,8	0,74	13,72	16,12	41,4
	5—10	0,60	6,99	15,61	24,4	0,68	11,14	16,14	34,5
	10—20	0,53	9,17	16,08	15,2	0,54	9,90	16,18	25,4
	20—30	0,50	8,79	16,02	27,4	0,56	7,90	16,17	18,4
	30—40	0,47	7,77	1,00	6,8	0,55	6,55	1,05	6,8
	40—50	0,38	6,47	0,00	4,5	0,48	5,88	0,00	6,5

Примечание. Подвижные формы азота, фосфора и калия приводятся в миллиграммах на 100 г сухой почвы.

Видимо, снижение общего азота в почве этих площадок связано с повышением интенсивности минерализации органического вещества; процессы эти при улучшении влагообеспеченности почвы существенно ускоряются. Таким образом, условия мобилизации питательных веществ и переход их в более подвижные и доступные для растений формы значительно улучшается, когда устраняется или, по крайней мере, ослабляется иссушение почвы корнями взрослых деревьев. Конечно, это имеет определенное значение для роста сеянцев на площадках, защищенных от влияний корней взрослых деревьев. На фоне уменьшения общего запаса соединений азота также наблюдается сравнительно небольшое, но отчетливо прослеживаемое снижение содержания подвижных форм азота и калия в верхних слоях почвы (до глу-

бины 20—30 см), где в основном и размещается основная масса корней сеянцев дуба. В более глубоких горизонтах (30—50 см) эти различия не прослеживаются, или наблюдается обратное соотношение в обеспеченности подвижными соединениями азота и калия. Видимо, определенное значение в уменьшении запасов этих питательных веществ на площадках с обрубкой корней должно иметь большое потребление их мощно развитыми сеянцами дуба. Что касается подвижных форм фосфора, то устранение потребляющей деятельности корней взрослых деревьев практически не влияет на их содержание в почве. Разумеется, этот вывод относится ко второй половине периода вегетации — именно к тому времени, когда жизнедеятельность деревьев сильно подавлена в связи с острым недостатком влаги в почве. К сожалению нам не представлялось возможности проследить динамику содержания питательных веществ в почве опытных и контрольных площадок в течение всего периода вегетации,

Т а б л и ц а 2

	Обрубка корней		Контроль	
	N, %	P ₂ O ₅ , %	N, %	P ₂ O ₅ , %
Насаждение ясеня обыкновенного				
Листья	1,84	0,302	1,64	0,469
Стебли	0,77	0,146	0,59	0,189
Насаждение дуба че- решчатого				
Листья	1,67	0,262	1,59	0,315
Стебли	0,87	0,174	0,80	0,184

что, конечно, дало бы более полную картину условий питания сеянцев в опытах. Но и на основе приводимых данных можно сделать заключение, что если обрубка корней взрослых деревьев и улучшала питательный режим сеянцев, то дубки контрольных площадок также развивались на фоне хорошей обеспеченности питательными веществами.

Нужно заметить, что непосредственные определения в почве питательных веществ совершенно недостаточны для заключений о влиянии корней взрослых деревьев на питание сеянцев. Дело в том, что общий баланс питательных веществ в почве контролируется очень сложной совокупностью факторов, в том числе таких, как вымывание осадками, потребление микроорганизмами, скоростью минерализации растительных остатков и т. п. Отсюда, например, понятно, почему некоторые исследователи не могли установить каких-либо изменений в химическом составе почв в опытах с траншейной обрезкой корней (¹⁴, ¹⁵). В связи с этим существенное значение для оценки интенсивности соревнования за питательные вещества имеют химические анализы самих растений опытных и контрольных площадок (табл. 2).

Как видим, при устранении конкуренции корней взрослых деревьев общее содержание азота в листьях и стеблях заметно повышается, но сравнительно на небольшую величину.

Совершенно неожиданными оказались результаты определения фосфора. В сеянцах, испытывающих на себе влияние корней взрослых деревьев, содержится больше фосфора, чем в растениях, изолированных от этих влияний. Особенно значительное накопление фосфора наблюдается в листьях контрольных дубков, где содержание его выше на 20 и 50% в сравнении с дубками, растущими на площадках с обрубкой корней. Различия в содержании фосфора в стеблях сеянцев менее существенны. Любопытно, что существует вполне определенная связь между степенью угнетения сеянцев дуба корнями исследованных древостоев и содержанием в них азота и фосфора. Более подавленному росту и состоянию контрольных сеянцев дуба в ясеневом насаждении соответствуют и более четко выраженные явления накопления фосфора в листьях и снижение содержания азота.

Итак, выясняется совершенно парадоксальный факт лучшей обеспеченности фосфором сеянцев дуба, растущих в условиях острого и напряженного соревнования с корнями взрослых деревьев за влагу.

Для физиологической и ценотической оценки подобного явления необходимо иметь в виду следующие обстоятельства. Прежде всего, повышен-

ное содержание фосфора в листьях дубков, растущих в условиях конкуренции корней взрослых деревьев, всегда сочетается с накоплением (и весьма значительным) в листьях углеводов в виде простых сахаров ⁽⁷⁾. Столь ясно выраженный параллелизм между накоплением углеводов в форме сахаров и содержанием фосфора в наших опытах естественно наводит на мысль о частичном выключении фосфора из общего круговорота веществ вследствие резкого нарушения углеводно-фосфорного обмена у сеянцев, растущих в условиях острой и напряженной конкуренции за влагу, с чем, видимо, и связано его накопление в листьях контрольных дубков. Мысль эта нам кажется весьма правдоподобной, если принять во внимание то огромное значение, которое имеет фосфор в передвижении углеводов по растению, в их транспорте из листьев в корни ^(2, 3, 8, 10).

Из-за небольшого количества химических анализов в настоящее время не представляется возможным дать полную картину биохимического круговорота соединений фосфора у сеянцев в наших опытах. Поэтому сейчас очень трудно сделать оценку всех последствий, которые имеют отмеченные выше особенности фосфорного обмена для растений в условиях напряженного соревнования за влагу, — например определить, в какой степени эти особенности можно рассматривать как приспособительную реакцию, повышающую устойчивость сеянцев к засухе, так как хорошо известно, что повышение содержания фосфора в тканях растений увеличивает их устойчивость против частичного обезвоживания и перегрева. Мы уже не говорим о тех огромных последствиях, которые могли бы иметь эти сдвиги для перестройки наследственной основы сеянцев.

Независимо от характера этого обмена, все приводимые здесь факты и соображения говорят о том, что плохой рост сеянцев в насаждениях степной зоны связан не с минеральным голоданием, а непосредственно с недостатком влаги в силу перехвата ее корнями взрослых деревьев. Иначе трудно объяснить тот факт, что сильно подавленные сеянцы дуба содержат в условиях конкуренции корней взрослых деревьев больше фосфора и мало отличаются по содержанию азота от растений, защищенных от воздействия корней взрослых деревьев. Недостаток влаги в первом случае не только тормозит использование сеянцами доступных и потенциальных запасов питательных веществ, но и обуславливает частичное выключение таких важнейших элементов, как фосфор, из физиологических процессов, имеющих исключительно важное значение в общем метаболизме растений. Изучение химического состава и физиологических особенностей растений в связи с конкурентными отношениями открывает, по-видимому, большие перспективы для изучения сложного механизма этих отношений и оценки их роли в процессах видообразования.

Институт леса
Академии наук СССР

Поступило
16 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. А. Афанасьева, С. Н. Карандина, Т. Я. Киссис, И. Н. Оловяникова, Тр. Компл. научн. экспед. по вопросам полезн. лесоразв., II, 1952.
² М. В. Афанасьева, Передвижение питательных веществ в растениях, Л., 1955.
³ В. О. Джеймс, Дыхание растений, ИЛ, 1956. ⁴ И. А. Грудзинская, Тр. Инст. леса, 30, 216 (1956). ⁵ П. Д. Дмитриенко, Тр. Почв. инст., 50, 158 (1957). ⁶ В. Г. Карпов, Бот. журн., 40, № 3, 399 (1955). ⁷ В. Г. Карпов, Бот. журн., 41, № 9, 1271 (1956). ⁸ А. Л. Курсанов, Бот. журн., 39, № 4, 482 (1954). ⁹ С. Д. Львов, Е. В. Калугина, Бот. журн., 43, № 6, 761 (1958). ¹⁰ Д. А. Сабинин, Физиологические основы питания растений, М., 1955, стр. 286.
¹¹ А. В. Соколов, Журн. почвовед., № 2, 11 (1956). ¹² А. Я. Орлов, Бот. журн., 42, № 8, 1173 (1957). ¹³ Д. М. Хейфец, Тр. Почв. инст., 50, 85 (1957). ¹⁴ E. F. Wallihan, Forestry, 38, 223 (1940). ¹⁵ H. Baldwin, Ecology, 21, № 3 (1940).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

К. Д. СТОЕВ, П. Т. МАМАРОВ и И. Б. БЕНЧЕВ

**ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОСТАВ ВОСХОДЯЩЕГО ТОКА
ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 28 I 1959)

В литературе имеются указания на то, что минеральные вещества не поглощаются растениями равномерно в течение суток ^(1,2). По мнению Попова ⁽³⁾, интенсивное поглощение ионов связано с оттоком ассимилятов из листьев и дыханием корней. В последнее время Гунар с сотрудниками ⁽⁴⁾ установили, что в течение суток имеется несколько периодов, в течение которых наблюдается определенная ритмичность в поглощении минеральных веществ. Как днем, так и ночью поглощение ионов изменяется за краткие промежутки времени, причем установлено 4—9 таких периодов. Это явление авторы объясняют с позиции теории раздражимости ⁽⁵⁾.

Неравномерность поглотительной способности корней, обусловленная прохождением этапов роста и развития растений ^(6,7) обнаруживается и во время вегетации.

Изучая состав восходящего тока виноградной лозы, мы сделали попытку установить влияние удобрений на сахарный и аминокислотный состав жидкости, вытекающей при плаче лозы. С этой целью мы собирали сок плача с удобренных N, P и K и не удобренных кустов сорта Зарчин, привитого на подвой Монтикола. Удобрение применялось в жидком состоянии в начале сокодвижения виноградной лозы.

Для сбора пасоки делался срез однолетнего выросшего побега. На оставшийся пенек надевали резиновую трубку, соединенную через стеклянную трубку с резиновой пробкой с пробиркой для сбора вытекающей жидкости. Для предотвращения попадания в пробирку микроорганизмов подготовленная для сбора пасоки система заранее стерилизовалась, а пенек обрабатывался толуолом и хлороформом. Кроме того, на дне пробирки оставлялось некоторое количество толуола и хлороформа с тем, чтобы конец стеклянной трубки, по которой вытекает пасока во время сбора плача, находился ниже уровня антисептической жидкости. Для того чтобы не опустить влияния зеленых частей виноградной лозы на состав пасоки, все листья и молодые побеги удалялись по мере их появления. Полученный сок плача концентрировался в 50 раз под вакуумом, после чего его брали для исследования сахарного и аминокислотного состава методом хроматографии на бумаге ^(8,9). Для изучения сахаров в пасоке оказался вполне подходящим метод Маттиаса ⁽¹⁰⁾.

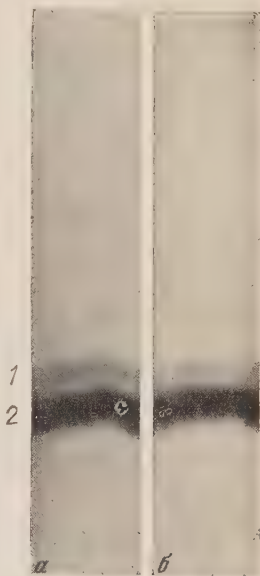


Рис. 1. Хроматограмма сахаров на 2 день после удобрения: а — кусты без удобрения, б — кусты с удобрением. 1 — фруктоза, 2 — глюкоза

Влияние удобрений на состав пасоки мы определяли по содержанию сахаров и свободных аминокислот на 2, 10 и 44 день после удобрения. Результаты исследования представлены на рис. 1 и 2.

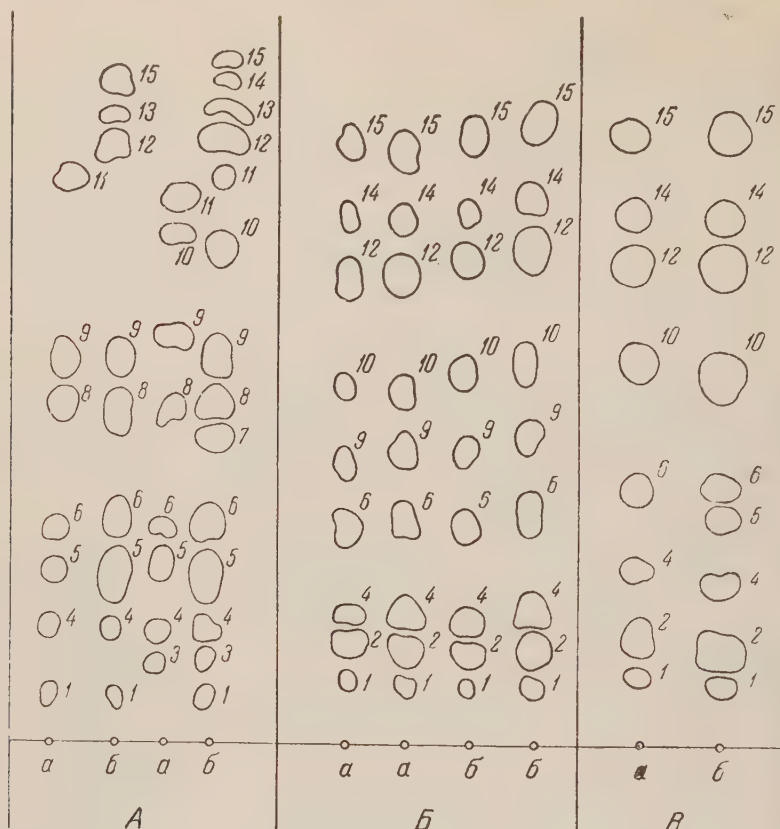


Рис. 2. Хроматограмма аминокислот. А — через 2 дня после удобрения, Б — через 10 дней после удобрения, В — через 44 дня после удобрения: а — кусты без удобрения, б — кусты с удобрением. Идентификация аминокислот: 1 — цистин, 2 — лизин, 3 — аспарагин, 4 — аспарагиновая кислота, 5 — неопределенное вещество, 6 — глутаминовая кислота, 7 — глутамин, 8 — серин, 9 — аланин, 10 — тирозин, 11 — пролин, 12 — валин, 13 — неопределенное вещество, 14 — фенилаланин, 15 — лейцин и изолейцин

Как видно из рис. 1, в пасоке кустов с удобрением и без удобрения разницы в содержании сахаров не обнаружено ни на 1—2, ни на 10, ни на 44 день после удобрения.

Таблица 1

Общее содержание сахаров в пасоке на 2 и 10 дни после удобрения (в γ на 1 мл жидкости)

Вариант	2 день	10 день
С удобрением	1910	600
Без удобрения	860	580

Однако анализом сахаров, проведенным количественными методами, установлено, что на 2 день после удобрения в соке плача удобренных кустов имеется значительно больше сахаров, чем в пасоке из кустов без удобрения. Но на 10 день после удобрения содержание сахаров в пасоке кустов с удобрением и без удобрения выравнивается (табл. 1).

Повышенное содержание сахаров в пасоке удобренных кустов, по всей вероятности, является результатом более интенсивного распада крахмала в корнях виноградной лозы, наступившего под влиянием фосфора суперфосфата. Как известно, фосфору при-

надлежит большая роль в обмене углеводов, он принимает участие как в их синтезе (¹¹⁻¹³), так и в гидролизе (¹⁴).

На рис. 2 представлены изменения в наборе аминокислот под влиянием удобрения. На 2 день после удобрения в пасоке удобренных кустов обнаруживается большой набор аминокислот (9 — в одном опытном кусте и 14 — в другом), в пасоке же кустов без удобрения обнаруживается всего 7—8 аминокислот.

В соке плача, вытекающего на 2 день после удобрения, установлены следующие аминокислоты: цистин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, глутамин, серин, аланин, тирозин, пролин, фенилаланин, лейцин; кроме того, два вещества остались неидентифицированными. В соке же плача с неудобренных кустов установлены: цистин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, серин, аланин, пролин и одно вещество, оставшееся неидентифицированным. Таким образом, в пасоке неудобренных кустов по сравнению с пасокой удобренных не обнаружены глутамин, тирозин, валин, фенилаланин, лейцин и одно из двух неопределенных веществ. Необходимо также отметить, что пятна аминокислот на хроматограммах сока плача удобренных кустов более крупные. Это показывает, что удобрение оказало влияние, по-видимому, и на количественное содержание соответствующих аминокислот.

Мюлдер и Бакема (¹⁵) также установили, что под влиянием азотного удобрения в клубнях картофеля увеличивается содержание амидов, особенно аспарагина, глутамина, аргинина, а в некоторых случаях и γ -аминомасляной кислоты.

Хроматографический анализ пасоки, полученной через 10 и 44 дня после удобрения, не показал никакой разницы в аминокислотном составе удобренных и неудобренных кустов. Это дает нам основание полагать, что поглощение и превращение минеральных веществ происходит наиболее интенсивно в первые дни после их внесения в почву.

Аналогичные выводы вытекают и из работы Петри и Вуда. По их исследованиям (¹⁶), на следующий день после обильной азотной подкормки в листьях райграса устанавливается значительное повышение количества амидов, аминокислот, а также белков. Но на 2 день после подкормки обнаруживается лишь незначительное увеличение содержания белков и амидов, в то время как содержание небелкового органического азота еще продолжает значительно увеличиваться. На 3 день после подкормки в содержании как белкового, так и небелкового азота уже никаких изменений не отмечалось.

В литературе имеются также и другие указания на то, что синтез аминокислот совершается за короткий срок после внесения азота. Турчин, Гуминская и Плишевская (¹⁷) установили, что спустя 30 мин. после подкормки овса азотом в корнях накапливается аланин. Глутаминовая кислота была обнаружена через 4 часа, аспарагиновая кислота — через 20 часов, а серин — через 44 часа.

Таким образом, усвоение азота корнями растений совершается быстро, а переход его в аминокислоты происходит с определенной последовательностью: раньше всего происходит синтез аланина, а потом дикарбоновых кислот. Синтез основных и ароматических аминокислот происходит значительно позже, по мнению авторов (¹⁷), — в результате переаминирования.

На увеличение набора аминокислот в соке плача удобренных кустов виноградной лозы, вероятно, оказало положительное влияние и фосфорное удобрение. Как установил Курсанов (¹⁸), синтез аминокислот в корнях растений происходит через непосредственное аминирование кетокислот, которые являются главными акцепторами аммониевых удобрений. Однако эта система, по его мнению, может функционировать в корнях лишь при достаточной обеспеченности фосфорной кислотой, так как фосфор принимает непосредственное участие в образовании органических кислот из сахаров.

Роль фосфора в синтезе аминокислот в корнях удобренных кустов виноградной лозы становится более вероятной, если принять во внимание данные

о повышенном содержании сахаров в жидкости, полученной с удобренных кустов.

Таким образом, наши исследования показывают, что азот аммония переходит в корни виноградной лозы в органической форме и оттуда в виде различных аминокислот передвигается в восходящем направлении к различным органам лозы. Причем наиболее интенсивное превращение неорганического азота в аминокислоты происходит в первые дни после его внесения в почву.

Научно-исследовательский институт
виноградарства и виноделия,
г. Плевен, Болгария

Поступило
30 VIII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. К. Домонтович, А. И. Groшенков, Научно-агроном. журн., № 3 (1930). ² Л. С. Качиони-Вальтер, Тр. Всесоюзн. научно-иссл. инст. удобр., агротехн. и агропочвовед., в. 8, физиол. раст., 1, 133 (1935). ³ Н. Г. Потапов, Вестн. с.-х. наук, Агротехника, в. 2 (1940). ⁴ И. И. Гунар, Е. Е. Крастина, А. Е. Петров-Спиридонов, Изв. Тимирязевск. с.-х. акад., № 4 (1957). ⁵ И. И. Гунар, там же, № 2 (1953). ⁶ Н. С. Авдонин, Подкормка сельскохозяйственных растений, 1954. ⁷ Е. И. Ратнер, Минеральное питание растений и поглощательная способность почв, 1950. ⁸ F. Sramek, Papierchromatographie, 3. Aufl., 1954. ⁹ I. M. Hais, K. Masek, Papirova chromatografie, Praha, 1954. ¹⁰ W. Matthias, Der Zuchter, 24, H. 11/12 (1954). ¹¹ А. И. Опарин, А. Л. Курсанов, Журн. сахарн. промышл., 5, № 7—8 (1931). ¹² Н. М. Сисакян, Биохимия, 1, 301 (1936). ¹³ Б. А. Рубин и др., Биохимия, 5, 687 (1940). ¹⁴ B. Agguin-Lozano, I. Bonner, Plant Physiol., 24, 720 (1949). ¹⁵ E. M. Mulder, K. Bokema, Plant and Soil, № 1—2 (1956). ¹⁶ A. Petrie, I. Wood, Ann. Bot., N. S., 2, № 5, 33 (1938); цит. по Д. А. Сабину, Физиологические основы питания растений, Изд. АН СССР, 1955. ¹⁷ Ф. В. Турчин, М. А. Гуминская, Е. Г. Плишевская, Меченые атомы в исследовании питания растений и применения удобрения, 1955. ¹⁸ А. Л. Курсанов, Вопросы ботаники, ч. 1, 1954, стр. 129.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

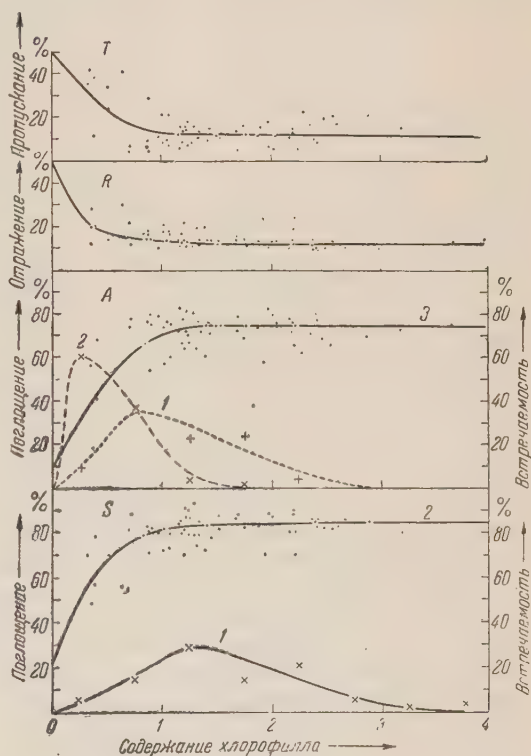
И. А. ШУЛЬГИН и А. Ф. КЛЕШНИН

О КОРРЕЛЯЦИИ МЕЖДУ ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ
И СОДЕРЖАНИЕМ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 10 I 1959)

В естественных условиях листья растений проявляют огромное разнообразие в отношении содержания пигментов, и в первую очередь — хлорофилла. Прямое солнечное освещение и сильное затенение растений под пологом леса дают большие различия в содержании этого пигмента. Еще Любименко ⁽¹⁾ детально исследовал на большом числе видов содержание хлорофилла в зависимости от условий произрастания растений, однако в литературе отсутствуют данные о том, как влияет различное содержание хлорофилла на оптические свойства листьев и в особенности — на поглощение лучистой энергии.

Рис. 1. Зависимость оптических свойств листьев от содержания хлорофилла (в миллиграммах на грамм сырого веса листа). S: 1 — распределение видов по общему содержанию хлорофилла, 2 — поглощение солнечной радиации в полуденные часы; A: 1 — распределение видов по содержанию хлорофилла a, 2 — то же для хлорофилла b, 3 — поглощение лучистой энергии в области 550 мμ, R — отражение лучистой энергии в области 550 мμ, T — пропускание лучистой энергии в области 550 мμ.



Настоящее исследование и было предпринято нами с целью изучения зависимости между оптическими свойствами листьев и содержанием хлорофилла.

Объектами исследования служили растения средней полосы Европейской части СССР, взятые из естественных условий произрастания, — дикорастущие травянистые (световые и теневые), древесные (световые и теневые), декоративные, культурные и другие виды растений (всего 80 видов).

Оптические свойства листьев определялись по ранее опубликованной методике ⁽²⁾. Содержание суммарного хлорофилла, а также хлорофиллов а и b определялось с помощью спектрофотометра СФ-4.

Результаты исследований представлены на рис. 1—3.

Большинство видов растений (70%) содержат 0,8—2,2 мг хлорофилла на грамм сырого листа (рис. 1, *S*, 1). При расчете хлорофилла на площадь (рис. 2, *S*, 1) максимум в распределении приходится на 2,5—3,5 мг на 100 см², при этом кривая симметрична и аналогична кривой содержания хлорофилла на вес листа. Поскольку обычно в литературе приводятся расчеты содержания хлорофилла на единицу сырого веса листа, мы приводим соответствующий материал; однако, на наш взгляд, более правильными являются данные, рассчитанные на площадь листа, так как поглощение лучистой энергии определяется не содержанием пигментов в единице объема, а его содержанием в единице поверхности.

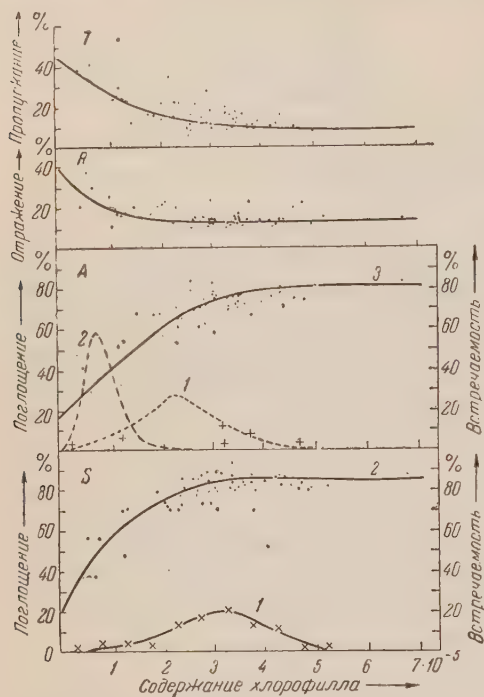


Рис. 2. Зависимость оптических свойств листьев от содержания хлорофилла (в миллиграммах на 100 см² листа). Обозначения те же, что на рис. 1

кривая на рис. 1. Минимальное значение равно 0,23, а максимальное 1,80 мг на 100 см²; более 90% исследованных видов содержат 0,4—1,2 мг на 100 см². При этом содержание хлорофилла *b*, исходя из кривой распределения (рис. 2), является более постоянным для различных по общему содержанию хлорофилла и другим показателям видов, обитающих в разных условиях среды; содержание хлорофилла *a* является более лабильным, зависящим главным образом от степени освещения листа. Что касается соотношения хлорофиллов *a* и *b*, то для максимального большинства видов оно равно 2,5—3,0 (рис. 3, *C*).

Определение оптических свойств листьев растений — пропускания, отражения и поглощения лучистой энергии, — проведенное на 80 видах, показало, что пропускание и отражение в физиологической области спектра минимально в синей и красной областях спектра, где различия между видами минимальны (2—5%), и максимально в желто-зеленых лучах с наибольшими различиями между видами (50%). Соответственно поглощение максимально в области синих и красных лучей и минимально в зеленых лучах.

На рис. 1 приведены кривые, выражающие зависимость между пропусканием (*T*), отражением (*R*) и поглощением (*A*, 3) в области 550 мμ и содержанием хлорофилла (в миллиграммах на грамм сырого веса). Аналогичные кривые даны на рис. 2 — в зависимости от поверхностной концентрации хлорофилла. Как видно из рис. 2, пропускание лучистой энергии у большин-

ства видов не зависит от содержания хлорофилла, когда оно достигает оптимального значения (рис. 2, S, 1). Дальнейшее увеличение содержания хлорофилла не приводит к изменениям величины пропускания. Зависимость наблюдается лишь при небольшом содержании хлорофилла (до 2 мг/100 см²), которое имеет место у овощных зеленных растений типа *Lactuca sativa* L. и водных погруженных растений (*Potamogeton praelongus* Wulf.), которые не являются типичными среди большинства растений.

Отражение (R) проявляет аналогичную зависимость.

Поглощение лучистой энергии в области 550 мμ возрастает с увеличением хлорофилла в листе и, достигнув определенного предела (3 мг/100 см²), не изменяется в дальнейшем. Максимум кривой распределения видов (рис. 2, S, 1) по содержанию хлорофилла приходится на ту часть кривой поглощения, где начинается плато и где заключено поглощение большинства видов растений. Корреляция связана главным образом с содержанием хлорофилла а, который и определяет в конечном итоге поглощение лучистой энергии.

В области 670 мμ, где поглощение лучистой энергии составляет 87—95% (рис. 3, А), оно, начиная с 2 мг на 100 см², не зависит от дальнейшего увеличения содержания хлорофилла.

Корреляционная кривая поглощения солнечной радиации в пределах 400—720 мμ (рис. 1 и 2 — S, 2) в зависимости от содержания хлорофилла имеет те же закономерности, т. е. начиная с 2 мг на 100 см² поглощение практически не зависит от содержания хлорофилла.

Зависимость оптической плотности листьев растений в области 550 и 670 мμ приведена на рис. 3, Е, из которого видно, что оптическая плотность зависит от содержания хлорофилла лишь при содержании последнего до 3 мг/100 см².

Таким образом, на основании приведенных данных можно сделать заключение, что у большинства видов растений средней полосы Европейской части СССР, которые, как известно, относятся главным образом к группе мезофитов, оптические свойства листьев растений — пропускание, отражение и поглощение — не зависят от содержания хлорофилла, который в большинстве случаев имеется в избытке.

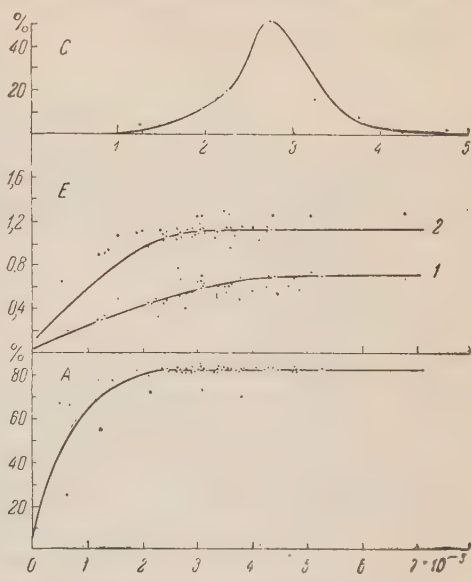


Рис. 3. Зависимость оптических свойств листьев от содержания хлорофилла (в миллиграммах на 100 см² листа). А — поглощение лучистой энергии в области 670 мμ; Е — оптическая плотность листьев в области 550 мμ (1) и 670 мμ (2); С — распределение соотношения хлорофиллов а и б

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
9 I 1959

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева
Академии наук СССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Н. Любименко, Окраска растений, Л., 1924. ² И. А. Шульгин, А. Ф. Клешнин, М. И. Верболова, Физиол. раст., 5, № 5, 473 (1958).

Н. И. ДРАГОМИРОВ

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ НЕЙРОЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ ФОЛЛИКУЛОВ
У ЛИЧИНОК АРАЛЬСКОГО ШИПА *ACIPENSER NUDIVENTRIS* LOV.

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 14 I 1959)

Относящиеся к органам латеральной системы «нервные мешки» осетровых рыб, рассеянные в определенных зонах на роstrуме и в других областях головы, представлены у личинок нейроэпителиальными фолликулами, происходящими из базального слоя эпидермиса. Топографическое распределение и темпы развития фолликулов не совсем одинаковы даже у близких видов⁽¹⁾, а при сравнении представителей разных родов сем. *Acipenseridae* выступают глубокие различия, явно связанные с эколого-морфологическими особенностями личинок и способами добывания пищи⁽²⁾. Чтобы определить пути становления видовых особенностей, прежде всего предстоит выяснить, как образуется весь комплекс этих органов в онтогенезе.

Данный отдел латеральной системы особенно полно представлен у личинок шипа *Acipenser nudiventris* Lov., по крайней мере в тех популяциях этого вида, которые обитают в бассейне Арала. У выловленных в Аму-Дарье личинок старшего возраста было отмечено обилие крупных фолликулов с широкими порами на нижней стороне роstrума и расширение их зоны в медиальном направлении⁽²⁾. У личинок, выведенных из икры на Сыр-Дарье в районе нерестилищ шипа близ Чиназа, в 1955 г., прослежен ход развития всех фолликулов, начиная от едва различимых зачатков*. Личинки развивались в сетчатых садках в реке, в апреле и начале мая при температур воды 11,3—21,7°.

Первые зачатки нейроэпителиальных фолликулов найдены у личинок 5-дневного возраста в области жаберной крышки и перед гиомандибулярной линией нейромастов. К тому времени, когда общее развитие организма допускает переход личинки на активное питание,— в данной серии в возрасте 10 суток,— у большинства фолликулов, во всех зонах, устанавливается сообщение с водной средой посредством наружной поры, образование же новых зачатков прекращается (см. табл. 1).

В самой обширной зоне, иннервируемой п. buccalis VII, зачатки фолликулов появляются сначала в щечной области. Отсюда процесс их возникновения распространяется вентрально и в роstrальном направлении. Фолликулы, расположенные внутри дуги инфраорбитальной линии нейромастов т. е. заглазничные, подглазничные и латеро-вентральные, отстают в развитии от тех, которые находятся позади и ниже этой линии (щечные и околоротовые), а также медиально от нее на нижней стороне роstrума (медио-вентральные).

Последовательность возникновения фолликулов соответствует распространению иннервации эпидермиса; степень развития их в общем убывает в направлении от ганглия к концу нерва и в обе стороны от нервного ствола. Эта схема осложняется тем, что соответственно ветвлению боковых от

* Возникновение расплывчатых утолщений базального слоя эпидермиса, в которых локализуются зачатки, в данном сообщении не рассматривается. Сроки развития фолликулов по отношению к остальным органам латеральной системы указаны в другом месте⁽³⁾.

Таблица 1

Возраст личинок в сутках	Первые зачатки фолликулов	Появление наружных пор	Последние зачатки
5	Оперкулярные, гиомандибулярные		
5,5	Щечные, окологротовые		
6	Медно-вентральные, передние височные, затылочные		
7	Задние височные и все остальные	Оперкулярные и гиомандибулярные	Затылочные, передние височные, оперкулярные; в области п. <i>ophthalmicus superficialis</i> VII; в области п. <i>buccalis</i> VII, кроме медно-вентральных Гиомандибулярные
8		В области иннервации г. VII всюду, кроме подглазничных фолликулов	
9		Подглазничные, затылочные	Медно-вентральные, надносовые, задние височные
10		Задние височные	

ростков нерва возникают локальные очаги образования фолликулов, дающие начало группам зачатков разного возраста.

Соотношение во времени между образованием нервных окончаний и закладкой фолликулов, а также первоначальный характер связи между ними предстоит еще выяснить.

В зоне п. *ophthalmicus superficialis* VII наиболее развитые фолликулы находятся в каудальной части надглазничного ряда (расположенного под одноименной линией нейроматов) и на переднем конце зоны, впереди и дорсально от линии нейроматов (надносовые, или предглазничные, фолликулы).

Вдоль основания жаберной крышки зачатки образуются группами или цепочками из общих утолщений базального слоя эпидермиса в тех местах, куда подходят иннервирующие эту область ветви тр. *hyomandibularis* VII, сперва в нижней части зоны оперкулярных фолликулов на латеральной поверхности головы, затем с вентральной стороны (далее от ганглия) и, наконец, дорсально (ближе к ганглию). Кроме того, в этой зоне развиваются и одиночные фолликулы.

В гиомандибулярном ряду, в области иннервации п. *mandibularis externus* VII, наблюдается подобная же, но менее правильная последовательность: обычно наиболее развитыми бывают латеро-вентральные фолликулы, а иногда верхние и нижние.

В височном ряду быстрее развиваются фолликулы, связанные с п. *oticus* VII (рис. 1). Первый очаг их возникновения находится ближе всего к основанию нерва и ганглию, однако наиболее сильным зачатком оказывается обычно не самый передний, а второй или третий в цепочке. Задние височные фолликулы, иннервируемые п. *supratemporalis* IX, малочисленны и значительно запаздывают в развитии; ближайшие к ганглию образуются раньше каудальных.

Затылочные фолликулы, расположенные кучной группой перед одноименной линией нейроматов и иннервируемые п. *auricularis* X, развиваются сравнительно равномерно.

Период новообразования фолликулов наиболее растянут в обширной зоне *p. bissalis* VII. В затылочной области, где они сосредоточены на небольшой площади, процесс выделения зачатков осуществляется в сжатые сроки (табл. 1). Уже во время быстрой смены начальных фаз морфогенеза заметно, что позднее возникающие зачатки в общем ускоренно формируются и дифференцируются. С возрастом личинки различия между старшими и младшими фолликулами естественно еще более сглаживаются. Все же в каждой группе даже смежные зачатки одинакового возраста развиваются неравномерно.

Ранние зачатки, как правило, бывают наиболее сильными, т. е. дают крупные и хорошо сформированные органы. Некоторые фолликулы, напротив, так и остаются недоразвитыми. Такие abortивные или резко ослабленные образования нельзя всецело отнести к категории индивидуальных аномалий. Неравномерное развитие этих органов обычно наблюдается у личинок разных осетровых рыб, причем на фоне индивидуальных различий выступают видовые особенности в оснащении ими разных областей головы. Число фолликулов непостоянно во всех зонах, а редукция отмечается чаще всего в гиомандибулярном ряду.

Темпы дифференцировки нейроэпителия и сроки образования устьиц не обнаруживают строгой корреляции. У оперкулярных фолликулов (рис. 2) сообщение с наружной средой устанавливается при разных уровнях развития структуры, обычно начало раздвигания клеток на дистальном полюсе совпадает у них с появлением первых признаков различия между клеточными элементами дна. Ускорение дифференцировки нейроэпителия по отношению к образованию поры отмечено у височных фолликулов в передней части ряда, а также у щечных фолликулов. Открывающиеся и открытые гиомандибулярные фолликулы нередко выглядят совсем рудиментарными.

Размеры открывающихся фолликулов сильно варьируют. Крупные фолликулы, как правило, имеют типичной формы полость и хорошо сформированный край устья, а мелкие отличаются упрощенной, сглаженной конфигурацией.

Развитие нейроэпителиальных фолликулов не приостанавливается на стадии, достигнутой к тому времени, когда личинка становится способной отыскивать добычу. Продолжается впячивание в подкожную соединительную ткань; полость, расширяясь у дна, принимает конусообразную форму, а нейроэпителий становится относительно тонким. В фолликулах 13-дневной личинки (рис. 3 и 4) уже сильно выражено слизееотделение, и даже наименее развитые среди них, только еще образующие поры, уже впячены под кожу, имеют длинные реснички и слизистое или студневидное содержимое в полости (рис. 4).

У других видов *Acipenser*, по неполным данным, нейроэпителиальные фолликулы тоже образуют наружные поры в конце периода желточного питания, а у личинок, готовых к поискам корма, в большинстве уже открыты (1). Подобные же отношения найдены и у белуги (род *Huso*). У других форм, как *Pseudoscaphirhynchus*, развитие этих органов замедлено, что становится понятным, если учесть усиленное развитие усаженных вкусовыми почками усиков у личинок (2). Результаты такого сопоставления не только говорят об адаптивном значении темпов развития, но и наводят на мысль о закономерной связи между сроками открывания фолликулов и готовности к функции рецепторов. Закономерность эта оказывается, однако, осложненной в конкретных случаях. Так, у личинок севрюги снизу на роструме начинается образование пор, когда нейроэпителий фолликулов еще едва дифференцирован (1)*. У шипа фолликулы гиомандибулярного ряда открываются наружу, будучи еще слабо развитыми, и в других зонах соотношение процессов формирования и дифференцировки не вполне одинаково.

* Н. Н. Дислер (4), применяя метиленовую синь в качестве индикатора, наблюдал прижизненное окрашивание нейроэпителиальных фолликулов («чувствительных ямок») у личинок севрюги в начале периода активного питания.

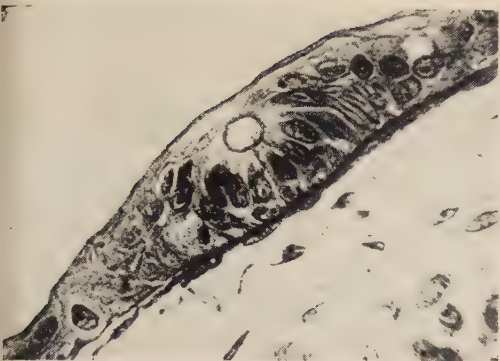


Рис. 1. Височный фолликул, еще замкнутый.
Возраст личинки 7 суток

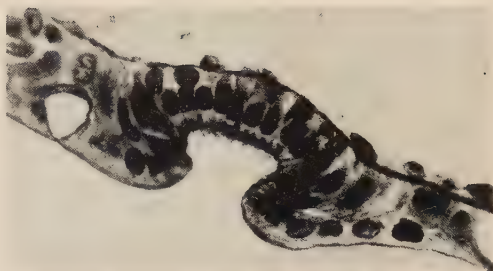


Рис. 2. Оперкулярный фолликул. Возраст личинки 10 суток

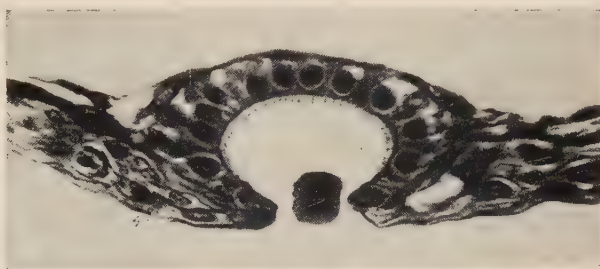


Рис. 3. Медио-вентральный фолликул. Возраст личинки
13 суток, 12 час.



Рис. 4. Открывающийся гломандибулярный фолликул личинки того же возраста (13 суток и 12 час.) со студенистым конусом и нитями на ресничках

Разновозрастность зачатков, растянутость во времени процесса их образования и явление рудиментации или ослабленного развития части фолликулов,— все это создает почву для изменчивости. Число фолликулов варьирует в каждой зоне, и не только у разных особей, но даже на правой и левой сторонах головы у одной личинки. В функциональном аспекте такая вариативность понятна, так как это множественные органы без строгой локализации. При сравнении разных видов и родов выступают, напротив, постоянные различия, проистекающие из той же изменчивости. Выяснение характера таких различий и возникновения их в онтогенезе — задача дальнейших исследований.

Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
7 I 1959

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. И. Драгомиров, ДАН, 97, № 1 (1954). ² Н. И. Драгомиров, О. И. Шмальгаузен, ДАН, 85, № 6 (1952). ³ Н. И. Драгомиров, ДАН, 124, № 2 (1959). ⁴ Н. Н. Дислер, Тр. Инст. морфол. животн. АН СССР, 1 (1949).

К. М. КУЛЛАНДА

АНАЛИЗ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ,
ВОЗНИКАЮЩИХ В КОРЕ МОЗЖЕЧКА ПРИ СТИМУЛЯЦИИ
НЕКОТОРЫХ АФФЕРЕНТНЫХ НЕРВОВ

(Представлено академиком К. М. Быковым 23 X 1958)

В ранее выполненных работах (^{1,3}) отсутствует анализ биопотенциалов, возникающих в различных зонах коры мозжечка при стимуляции висцеральных нервов. Настоящая работа является попыткой восполнить это

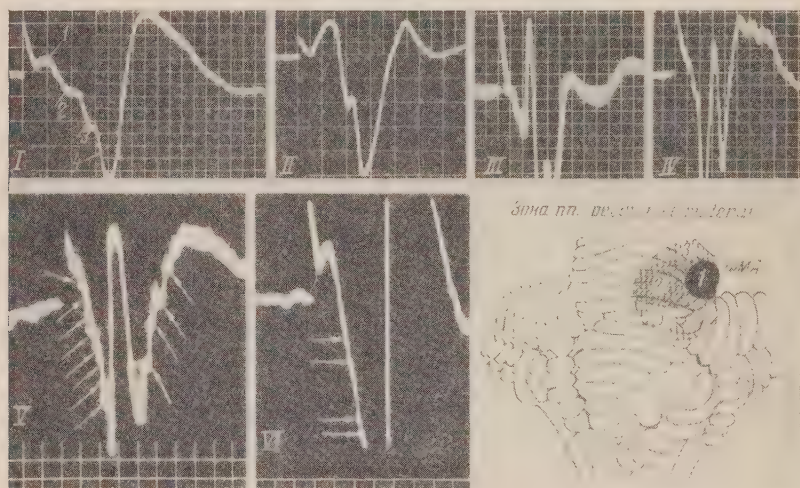


Рис. 1. Виды биопотенциалов, возникающих в коре мозжечка при стимуляции пп. pelvici et pudendi. Масштаб времени: в записях I и II горизонтальная сторона маленького квадрата составляет 5 мсек, в записях III—VI — 10 мсек. На схеме указана зона представительства пп. pelvici et pudendi в коре мозжечка кошки. 1 (ФМА) — фокус максимальной активности, 2 и 3 — части зоны представительства в порядке уменьшения их активности

пробел на примере изучения потенциалов, возникающих при стимуляции пп. pelvici et pudendi.

В статье используются материалы, полученные в условиях острых опытов на 45 кошках под хлоралозным или нембуталовым наркозом.

Рассмотрим, что представляет собою биоэлектрический ответ мозжечка на периферическую стимуляцию.

На записи I (рис. 1) представлен ответ, зарегистрированный в ipsilateralной части передней доли мозжечка. В нем можно различить четыре компонента (отмечены цифрами 1—4). Компонент 1 представляет собой отрицательное незначительное по амплитуде колебание, наступающее с латентным периодом около 5 мсек. Иногда этот первый компонент бывает более ярко выражен, как, например, в записи II, иногда мож

совершенно отсутствовать, как в записи *IV*. Компонент 1 без паузы переходит в компонент 2, представляющий собой положительное колебание потенциала. Это колебание наступает с латентным периодом 12—16 мсек. В некоторых случаях оно бывает более ярко выражено вследствие того, что не сливается со следующим компонентом (3). Этот случай представлен в записи *III*, где компонент 1 отсутствует, а компонент 2 (первое положительное колебание потенциала) хорошо выражен.

Компонент 2 непосредственно переходит в компонент 3, представляющий собой также положительное колебание, наступающее с латентным периодом в 17—26 мсек. Компонент 3, как и два первых, в ряде случаев бывает отчетливо выражен, как, например, в записи *IV*, на которой компонентом 3 является первое большое положительное колебание потенциала. В этой записи компонент 1 отсутствует, а компоненты 2 и 3 сливаются.

Компонент 4 (запись *I*) является последним компонентом составного потенциала. Он наступает с латентным периодом 26—34 мсек. Так как его развитие не прерывается, то он имеет и отрицательную фазу. У компонентов 2 и 3 отрицательная фаза обычно отсутствует (за исключением отдельных случаев, как в записях *III* и *IV*) вследствие того, что ее развитию препятствует наступающее положительное колебание последующего компонента.

Таким образом, ответ мозжечка, наступающий непосредственно вслед за периферическим раздражением, представляет собой целый комплекс биоэлектрических колебаний, каждое из которых наступает с присущим ему скрытым периодом и характеризуется определенными свойствами. Исходя из этого, нам кажется целесообразным назвать такую реакцию непосредственной комплексной реакцией — НКР.

Как уже отмечалось⁽²⁾, между биопотенциалами, возникающими в одной и той же точке мозжечка в ответ на два последовательных стимула, имеются определенные различия. Чтобы выяснить, в чем они состоят, обратимся к рис. 2, на котором записи *I* и *III* отражают НКР на первый удар тока; записи *II* и *IV* отражают ответ на второй удар тока, а расположенные под ними записи *I—II* и *III—IV* получены путем наложения записей *II* на *I* и *IV* на *III*. Сопоставление этих записей показывает, что второй удар тока устраняет из НКР все компоненты, за исключением компонента 3. О том, что сохраняется именно компонент 3, можно судить по его латентному периоду. Следовательно, различия между биопотенциалами, возникающими на первый и второй удары тока, состоят в том, что первое раздражение приводит к возникновению всех четырех компонентов (с той или иной степенью выраженности каждого), а на второй удар тока возникает лишь компонент 3.

Посмотрим теперь, имеются ли различия между НКР, регистрируемой на первый удар тока, в различных зонах коры мозжечка. Для этого сравним записи *V* и *VI* (рис. 2). Сравнение показывает, что основное отличие между ними заключается в том, что в то время, как в составе НКР, зарегистрированной в ипсилатеральной части *l. anterior* (запись *V*), компонент 3 присутствует, в НКР, зарегистрированной в соответствующей контралатеральной зоне (запись *VI*), он отсутствует. Первое положительное колебание, наступившее в записи *VI* (его отражает утолщенная начальная часть кривой) с латентным периодом 15—16 мсек, является компонентом 2, который в данном случае переходит не в компонент 3, а в компонент 4 НКР. Сказанное демонстрируется записью *V—VI*, представляющей наложение записи *VI* на *V*.

Записи *VII* и *VIII* (рис. 2) демонстрируют НКР, зарегистрированные в различных точках контралатеральной (по отношению к раздражаемому нерву) части *l. anterior*, в составе которых отсутствует компонент 3. Таким образом, НКР, регистрируемые в разных зонах мозжечка, неодинаковы. В ипсилатеральной части передней доли (см. рис. 1; схема мозжечка, область

1 — ФМА) НКР возникает, имея в своем составе все четыре компонента. В примыкающих к этой области участках коры НКР характеризуется тем, что входящий в ее состав компонент 3 возникает даже на первый стимул со все меньшей амплитудой, пока, на известном удалении от этой зоны, не выпадает совсем из состава НКР.

Компонент 4 является наиболее широко распространенным по коре мозжечка потенциалом, возникающим с разной амплитудой не только в пре-

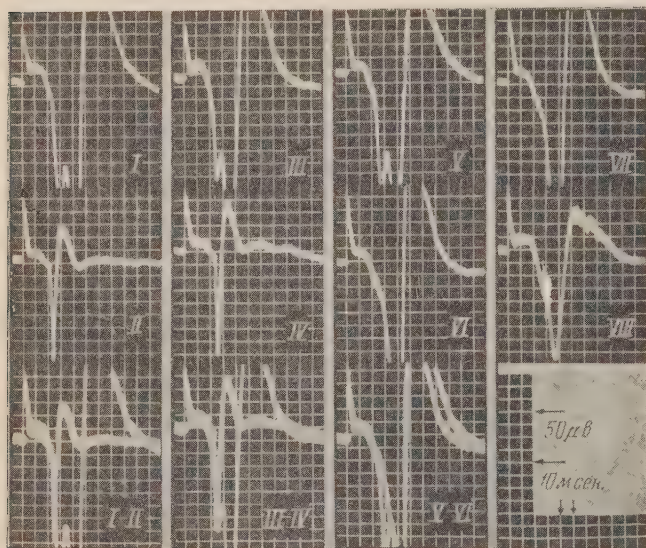


Рис. 2. Сравнение НКР, возникающих в различных зонах мозжечка. Интенсивность раздражающего тока 5,5 в. Частота стимулов 2 в 1 сек. Кот. № 118; опыт от 6 IX 1956 г. Глубокий хлоралозный наркоз

делах передней доли и простой доли, но и в парамедианных долях обеих сторон, черве, пирамиде и прилежащих к ним областях коры. Из всего сказанного можно сделать вывод о том, что не все компоненты НКР могут быть использованы в качестве индикатора для выяснения вопросов локализации в мозжечке представительства тех или иных афферентных нервов (не только висцеральных, но и соматических). В качестве критерия, дающего возможность судить о подобной локализации, на наш взгляд, может быть взят лишь компонент 3. В пользу этого свидетельствуют локальность его возникновения, воспроизводимость при ряде повторных раздражений, высший ритм, намного превышающий таковой для других компонентов, стойкость к наркозу. Иными словами, из НКР только компонент 3 обладает признаками, сближающими его со специфическими биоэлектрическими реакциями коры больших полушарий — первичными ответами. Интересно отметить, что порог возникновения компонента 3 выше, чем компонента 4. На рис. 3 представлен ряд ответов, зарегистрированных в ипсилатеральной части передней доли мозжечка при нанесении на центральный конец тазового нерва стимулов возрастающей интенсивности. Можно заметить, как повышение силы раздражения приводит вначале к появлению компонента 4 НКР (записи I—III), и лишь впоследствии, при достижении стимулом определенной интенсивности, возникает компонент 3. Еще большая степень раздражения ведет к постепенному росту амплитуды этого компонента до тех пор, пока он совсем не сливается с компонентом 4.

Чем же все-таки являются четыре основных компонента НКР мозжечка, деятельность каких морфологических структур они отражают? Прежде всего, несомненно, что компоненты 2—4 НКР являются отражением деятельности каких-то самостоятельных (конечно, относительно) функциональных систем мозжечка, а не отражают процесс возбуждения, постепенно охватывающий все большее и большее количество однородных элементов. В этом нас убеждают записи, приведенные на рис. 1. Так, на записи V представлена НКР, зарегистрированная в мозжечке в пределах зоны представительства тазового нерва. В этой реакции хорошо различимы компоненты 3—4. Обращают на себя внимание добавочные колебания (указаны стрел-

ками), возникающие в момент развития начальной положительной фазы компонента 3. На наш взгляд, эти дополнительные колебания свидетельствуют о постепенном вовлечении в реакцию какого-то количества элементов из числа тех, которые ответственны за возникновение компонента 3 НКР.

То же самое можно сказать и о дополнительных колебаниях, возникших в момент развития отрицательной фазы компонента 4 (запись V) и положительной фазы компонентов 2 и 3 НКР (слившихся в данном случае) (рис. 1, запись VI).

Таким образом, нам кажется наиболее вероятным, что каждый из основных компонентов НКР отражает деятельность вполне определенных и в морфологическом и в функциональном отношении структур, приходящих в возбуждение под влиянием периферического сенсорного импульса в строгой последовательности. Некоторые исследования последних лет позволяют предположить, что первый отрицательный компонент НКР отражает приход афферентного залпа в ядра мозжечка. Компонент 2 может отражать возбуждение клеток-зерен (зернистых, гранулярных клеток), а компонент 4 — возбуждение корзинчатых клеток. Можно представить, что пришедший по мшистым волокнам афферентный залп вызывает вначале возбуждение большого числа широко распространенных клеток-зерен, что и отражает компонент 2 НКР. Возникшее в клетках-зернах возбуждение передается ими еще большему числу корзинчатых клеток, возбуждение которых отражает компонент 4 НКР.

Связь компонентов 2 и 4 с функционированием системы мшистые волокна — клетки-зерна — корзинчатые клетки подтверждается еще и тем, что при ритмических раздражениях афферентных нервов обычно они выпадают из состава НКР вместе.

Что касается компонента 3 НКР, отражающего, по нашему мнению, процессы, имеющие «локальный» и «специфический» характер, то его возникновение, видимо, связано с возбуждением клеток Пуркинье под действием афферентных импульсов, приходящих по ползучим (лазающим) волокнам.

Институт нормальной и патологической
физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
11 X 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ P. Dell, R. Olson, C. R. Soc. Biol., 145, 1084 (1951). ² К. М. Кулланда, ДАН, 124, № 6 (1959). ³ L. Wide n, Acta Physiol. Scand., 33, Suppl. 117, 69 (1955).

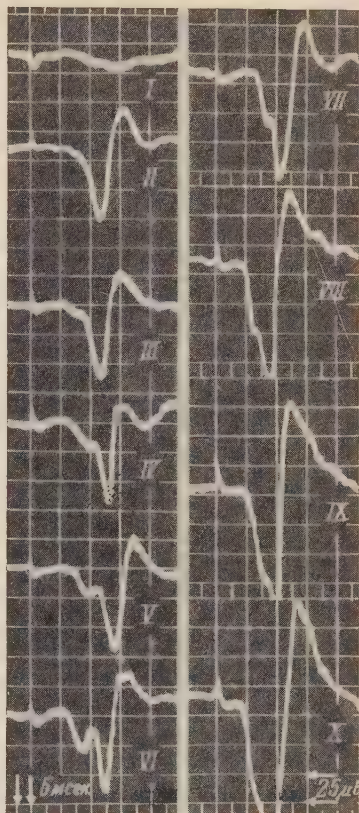


Рис. 3. Биопотенциалы, возникающие в ипсилатеральной части передней доли мозжечка при раздражении центрального конца тазового нерва возрастающими по интенсивности стимулами. Длительность импульса 0,2 мсек. Амплитуда импульса увеличивалась от одной условной единицы (в записи I) до 12 (в записи X). Кот № 135; опыт от 12 X 1956 г. Глубокий хлоралозный наркоз

Г. А. БУЗНИКОВ

О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЗНАЧЕНИИ ГИАЛУРОНИДАЗЫ В ИКРЕ КОСТИСТЫХ РЫБ

(Представлено академиком А. Н. Бакулевым 27 XII 1958)

Достигшие определенных стадий развития эмбрионы всех исследованных костистых рыб (за исключением вьюна) выделяют в перивителлиновую жидкость фермент гиалуронидазу (¹⁻³). Функции этого фермента в икре пока не могут считаться установленными. Известно, что гиалуронидаза накапливается в составе секрета так называемых желез вылупления, т. е. приобретает функциональное значение лишь после выхода в перивителлиновое пространство, где она удерживается благодаря непроницаемости яйцевых оболочек для белков (^{3,4}).

Для изучения физиологической роли гиалуронидазы нами были поставлены опыты по удалению этого фермента из развивающейся икры литофильных карповых рыб — кубанского рыбца и азовской шемаи. Такое удаление осуществлялось инактивацией гиалуронидазы или искусственным снятием яйцевых оболочек, произведенным до начала секреции гиалуронидазы эмбрионами. Извлеченные из оболочек эмбрионы выделяют гиалуронидазу прямо в окружающую воду, вследствие чего активность этого фермента падает до нуля. При инактивации гиалуронидазы в качестве ингибитора использовался азокраситель трипановый синий (ТС). Предварительные опыты показали, что ТС в разведении 1 : 20 000—1 : 100 000 полностью инактивирует гиалуронидазу икры рыбца и шемаи *in vitro* и *in vivo*. В последнем случае гиалуронидаза инактивируется лишь после выделения ее эмбрионами в перивителлиновую жидкость. Следовательно, яйцевые оболочки рыбца и шемаи проницаемы, а кожные покровы эмбрионов практически непроницаемы для ТС. Работа проводилась на рыбцово-шемайном питомнике «Горячий Ключ» (Краснодарский край, р. Псекупс). Активность гиалуронидазы измерялась вискозиметрически, активность фермента вылупления — по снижению прочности яиц ранних стадий развития, помещенных в испытуемый раствор.

Гиалуронидаза появляется в перивителлиновой жидкости рыбца и шемаи трижды — к началу кровообращения, к началу формирования сосудистой сети в анальной плавниковой складке и перед вылуплением. В I серии опытов удаление или инактивация гиалуронидазы производились, начиная со второго выхода ее в перивителлиновую жидкость. Равные количества икры и одновозрастных извлеченных из оболочек эмбрионов (50—100 штук) инкубировались соответственно в растворе ТС 1 : 40 000 и в воде. Контролем служили высвобожденные эмбрионы, инкубируемые в ТС 1 : 40 000, и икра, инкубируемая в воде. Опыты проводились при температуре 20—23° и напряжении кислорода около 90 мм рт. ст. Было обнаружено, что инактивация гиалуронидазы ТС вызывает ускоренное, по сравнению с контролем, вылупление эмбрионов (рис. 1). Однако каких-либо нарушений развития у этих эмбрионов не наблюдается. Развитие высвобожденных эмбрионов в растворе ТС и в воде также протекает вполне нормально.

Во II серии опытов, производимых по той же схеме и при тех же внешних условиях, перенос икры в раствор ТС или удаление яйцевых оболочек производились еще до начала секреции гиалуронидазы, на стадии 8—10 хвостовых сегментов. Вплоть до стадии, на которой произошел первый выход гиалуронидазы в перивителлиновую жидкость, эмбрионы из икры, инкубируемой в растворе ТС, развивались нормально. Однако затем у них наблюдались определенные нарушения развития: задерживалось на больший или меньший срок начало кровообращения и часто возникали отеки перикардиальной области (рис. 2а). Вылупление таких эмбрионов происходило раньше, чем в контроле, причем вскоре после вылупления указанные нарушения постепенно исчезали. На поздних стадиях эмбрионального периода жизни у подопытных эмбрионов все же обнаруживалось некоторое отставание в развитии от контрольных и несколько замедленный ход пигментации глаз. Период наибольшей чувствительности икры к действию ТС совпадает именно с первым выходом гиалуронидазы в перивителлиновую жидкость; остается ли после этого икра в растворе ингибитора или переносится в воду — безразлично. Удаление гиалуронидазы, произведенное посредством снятия яйцевых оболочек не нарушает нормального хода развития. Извлеченные из оболочек эмбрионы, инкубируемые в растворе ТС, также развиваются нормально (рис. 2б).

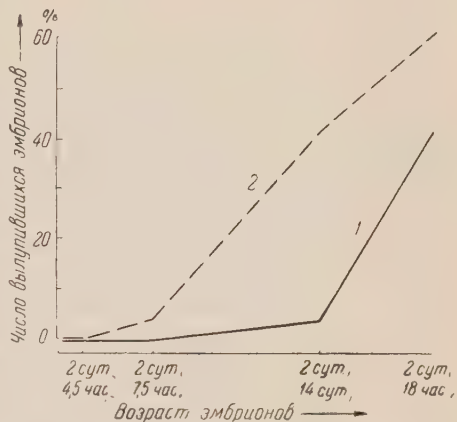


Рис. 1. Влияние ТС на вылупление эмбрионов кубанского рыба. 1 — икра, инкубируемая в воде, 2 — икра, инкубируемая в растворе ТС 1 : 40 000

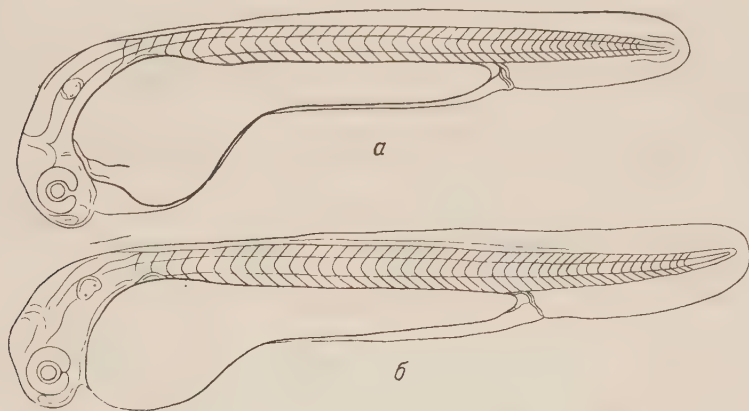


Рис. 2. а — эмбрион, вылупившийся из икринки, инкубируемой в растворе ТС 1 : 40 000; б — извлеченный из оболочки эмбрион, инкубируемый в растворе ТС 1 : 40 000. Возраст эмбрионов 3 сут. 3 час. Рисунок выполнен с микрофотографии

При повышении парциального давления кислорода в воде до 120 мм рт. ст. отклонения от нормы у эмбрионов из икры, инкубируемой в растворе ТС, выражены в значительно меньшей степени: наблюдается только незначительная задержка начала движения крови по сосудам, отеки перикардиальной области, как правило, отсутствуют. При парциальном давлении кислорода 140—150 мм развитие икры в растворе ТС проходит, по-видимому,

вполне нормально; нарушения кровообращения если и имеют место, то исчезают настолько быстро, что мы не успеваем их заметить.

ТС известен не только как ингибитор гиалуронидазы (^{5,6}), но и как агент, оказывающий тератогенное действие на развивающихся эмбрионов (^{7,8}). В данном случае действие ТС на икру обусловлено, по-видимому, именно влиянием этого вещества на активность гиалуронидазы, поскольку развитие извлеченных из оболочек эмбрионов, инкубируемых в растворе ТС протекает точно так же, как и развитие эмбрионов, инкубируемых в воде. Отсутствие побочных эффектов при действии ТС обусловлено, по-видимому, непроницаемостью для него бластодермы эмбрионов.

Как явствует из приведенных материалов, гиалуронидаза икры имеет значение для развития эмбрионов только в присутствии яйцевых оболочек. Одновременное удаление гиалуронидазы и оболочек не вызывает каких-либо отклонений от нормы. В то же время полная инактивация гиалуронидазы, произведенная при сохранении яйцевых оболочек, вызывает определенные нарушения развития, наиболее явными из которых являются не нормальности в развитии кровообращения. Зависимость последствий инактивации гиалуронидазы от кислородного режима позволяет считать, что ее функции связаны с компенсацией «тормозящего» влияния яйцевых оболочек на дыхательный газообмен, в основе которого лежит обусловленное оболочками снижение парциального давления кислорода в перивителлиновой жидкости (⁹). Чем выше насыщение воды кислородом, тем лучше при прочих равных условиях кислородный режим перивителлиновой жидкости и тем меньше сказывается инактивация гиалуронидазы на развитии эмбрионов. Если «тормозящее» влияние оболочек полностью устранено, что в случае икры рыба может быть достигнуто не только их удалением, но и повышением напряжения кислорода до 150 мм рт. ст. (³), инактивация гиалуронидазы не вызывает заметных нарушений развития. Аналогичный вывод о физиологической роли гиалуронидазы как одного из эмбриональных дыхательных приспособлений был сделан нами и ранее (^{1,3}) на основе некоторых косвенных соображений, в частности на основе анализа возрастной динамики активности этого фермента в икре рыб, относящихся к различным экологическим группам. Возможно, что гиалуронидаза компенсирует «тормозящее» влияние оболочек, повышая проницаемость этих структур, а также бластодермы эмбрионов для растворенного в воде кислорода. Решение вопроса о том, на проницаемость каких именно структур действует гиалуронидаза, затрудняется отсутствием сведений о распределении гиалуроновой кислоты и других атакуемых гиалуронидазой кислых мукополисахаридов в развивающейся икре костистых рыб.

Следует указать, что результаты опытов с инактивацией гиалуронидазы икры не являются решающим доводом в пользу высказанного предположения о функциях этого фермента, поскольку не исключена возможность прямого влияния ТС на транспорт кислорода через яйцевые оболочки.

В заключение остановимся на возможной роли гиалуронидазы в процессе вылупления. Инактивация гиалуронидазы ускоряет секрецию фермента вылупления (рис. 1), что объясняется, по-видимому, ухудшением кислородного режима перивителлиновой жидкости. Выключение других эмбриональных дыхательных приспособлений также ускоряет секрецию фермента вылупления и, следовательно, выход эмбрионов из яйцевых оболочек (³). Наши предварительные опыты позволяют предположить, что в случае невозможности такого ускоренного вылупления последствия инактивации гиалуронидазы выражены значительно более резко. Возможно, что гиалуронидаза принимает также и прямое участие в разрушении яйцевых оболочек при вылуплении. Ее инактивация, ускоряя секрецию фермента вылупления, в то же время замедляет растворение оболочек этим ферментом. В результате полное высвобождение эмбрионов рыбка из яйцевых оболочек в норме занимающее несколько минут, затягивается на несколько часов.

В пользу предположения о прямом участии гиалуронидазы в акте вылупления говорит и то, что наибольший, а иногда и единственный подъем гиалуронидазной активности в перивителлиновой жидкости всех исследованных костистых рыб всегда непосредственно предшествует вылуплению.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
20 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Х. С. Коштойянц, Г. А. Бузников, ДАН, **93**, № 5, 937 (1953).
² Г. А. Бузников, *Вопр. ихтиол.*, в. 3, 104 (1955). ³ Г. А. Бузников, Канд. диссертация, М., 1956. ⁴ Е. А. Бабурина, Г. А. Бузников, ДАН, **113**, № 6, 1387 (1957).
⁵ P. van Caneghem, H. W. Spier, *Biochem. Zs.*, **325**, 366 (1954). ⁶ M. B. Matthews, A. Dorfman, *Physiol. Rev.*, **35**, 381 (1955). ⁷ M. Hamburgh, *Anat. Rec.*, **119**, 409 (1954). ⁸ V. H. Ferm, *Anat. Rec.*, **125**, 745 (1956). ⁹ Г. А. Бузников, ДАН, **125**, № 5 (1959).

Т. А. Беднякова и В. Н. Верейская

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЯИЦ
В ИЗОЛИРОВАННЫХ КЛАДКАХ БАБОЧЕК ТУТОВОГО
ШЕЛКОПРЯДА (*BOMBYX MORI* L.), ЗАРАЖЕННЫХ ПЕБРИНОЙ
(*NOSEMA BOMBYCIS* NAEG.)

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 21 I 1958)

Действие высоких температур (42, 44 и 46°) на зараженную пембриной грену тутового шелкопряда приводит к значительному снижению заражения во всех четырех периодах эмбриогенеза: летнего развития, диапаузы (эстивация и зимовка) и весеннего развития⁽²⁾. Степень обеззараживания не одинакова как в разные периоды развития, так и в пределах каждого периода. Наиболее удовлетворительные результаты получены в летний преддиапаузный период развития, в первые 2,5 суток после откладки яиц. На этих же стадиях получено максимальное снижение заражения и на грене, у которой диапауза снята соляной кислотой⁽¹⁾. При удовлетворительном выходе гусениц (не менее 80%) получено снижение заражения на 90—95% по отношению к контролю. Эти цифры получены в результате усреднения данных большого числа параллельных опытов, проведенных на разных породах. При этом нами наблюдались резкие колебания в зараженности отдельных образцов гусениц — как подопытных, так и контрольных. Неожиданно среди слабо зараженных образцов попадались сильно зараженные. В некоторых случаях заражение в опыте превышало заражение в контроле.

Большая или меньшая вариабильность зараженности контрольных и подопытных образцов, разумеется, неизбежна в силу чисто статистических закономерностей. Смесь грены была получена от многих бабочек разной степени зараженности и даже незараженных. Более того, больные бабочки как и сильно инфицированные, откладывают здоровые или очень слабо зараженные яйца. Поэтому отдельные случайные выборки (контрольные и подопытные) состояли из смеси здоровых и в разной степени зараженных яиц.

О величине размаха колеблемости заражения в отдельных контрольных и подопытных образцах дает представление рис. 1.

В контроле средняя зараженность устанавливалась из большого числа промикроскопированных образцов (10—20, а иногда и более 100). В опыте повторные испытания при одних и тех же условиях проводились только в отдельных случаях и на ограниченном числе образцов (не более 5—6), что было неизбежно в поисковых опытах.

Значительная широта пределов колебаний степени зараженности при относительно небольших интенсивностях исходного заражения и ограниченном числе испытаний заставила опасаться, что в отдельных опытах мы получили завышенный или заниженный процент обеззараживания. Поэтому с целью устранить возможные погрешности и точно установить на статистическом достоверном материале эффективность одного из режимов прогревания перспективность которого наметилась в прежних работах^(1,2), нами были поставлены опыты на большом числе изолированных кладок зараженных пембриной бабочек. Такой опыт позволил учесть зараженность образца до прогревания и после него и поэтому более точно определить обеззараживающий эффект температуры. Преимущество такого опыта заключается еще и в том

что мы могли определить, зависит ли обеззараживающее действие температуры от интенсивности исходного заражения образца.

Материалом служила гибридная зараженная пеприной грена, отложенная двукратно зараженными самками партеногенетического клона Аз2-7, оплодотворенными самцами различного происхождения, в основном багдадской породы. Методика заражения опубликована ранее (1). После оплодотворения каждая бабочка отсаживалась в пергаментный мешочек, где она откладывала яйца. Кладка разделялась на две приблизительно равные части. Одна половина прогревалась в горячей воде, а другая была оставлена в качестве контроля. Все подопытные половинки кладок прогревались в возрасте 2,5 суток после откладки яиц, при температуре 46° и экспозиции 2 часа.

Перед водным прогревом грена подвергалась воздушной тепловой подготовке (1). При этих условиях в прежних опытах (1, 2) были получены наиболее удовлетворительные результаты.

Все бабочки были разделены на две партии: грена одной партии развивалась с диапаузой (продолжительность развития около 9 мес.), а в другой диапауза была снята обработкой соляной кислотой (продолжительность развития 2 недели) (1)*. Средняя зараженность бабочек первой партии была 100 спор на одно поле зрения микроскопа, а второй — около 350.

Из последующего анализа были исключены: 1) кладки, полученные от незараженных бабочек; 2) кладки, где заражение в контроле составляло менее 5 спор на 100 полей зрения, так как оно могло быть результатом случайного заноса инфекции (мы наблюдали в кладках здоровых бабочек заражение в 1—3 споры на 100 полей зрения); 3) кладки, где в каждой половине вывелось менее 50 гусениц; 4) кладки с малым выходом гусениц в контроле. В результате было отобрано 100 кладок зимующей и 100 кладок оживленной грены.

Микроскопировались обычным способом (1) все имеющиеся в кладке гусеницы. Вычислялось среднее число спор на 1 поле зрения микроскопа (интенсивность заражения) в подопытной и контрольной половинах кладки. Споры просчитывались в 50—200 полях зрения. Интенсивность заражения в каждой прогретой кладке относилась к соответствующей величине в контрольной половине и выражалась в процентах. Получаемая величина представляет собой «остаточную» зараженность, выраженную в процентах. Вычитание процента остаточной зараженности из 100% дает процент обезза-

* В дальнейшем изложении для краткости мы называем партию грены, развивающуюся с диапаузой, зимующей, а грену, у которой диапауза в развитии снята соляной кислотой, — оживленной.

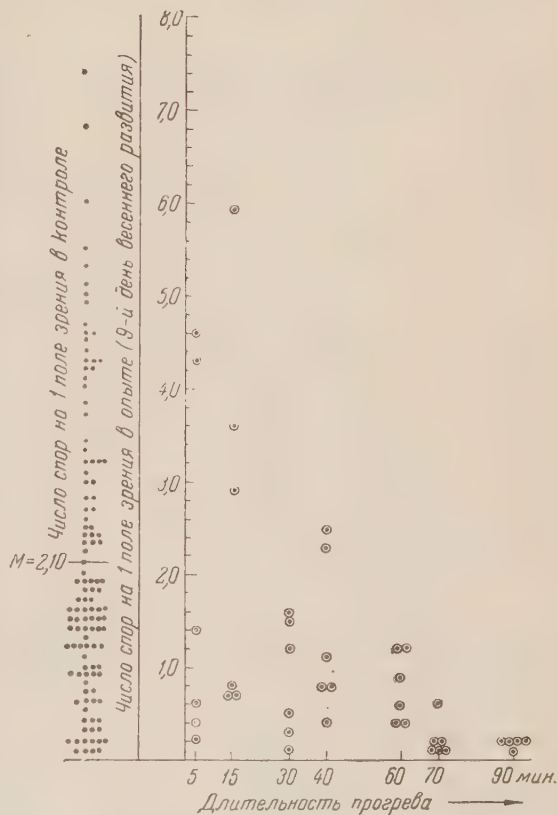


Рис. 1. Размах колеблемости заражения в контроле и в опыте. Смесь зимующей грены партеноклона Аз2-7

раживания подопытного образца. В табл. 1 приведены средняя интенсивность заражения в прогретых и контрольных половинах всех кладок и средний

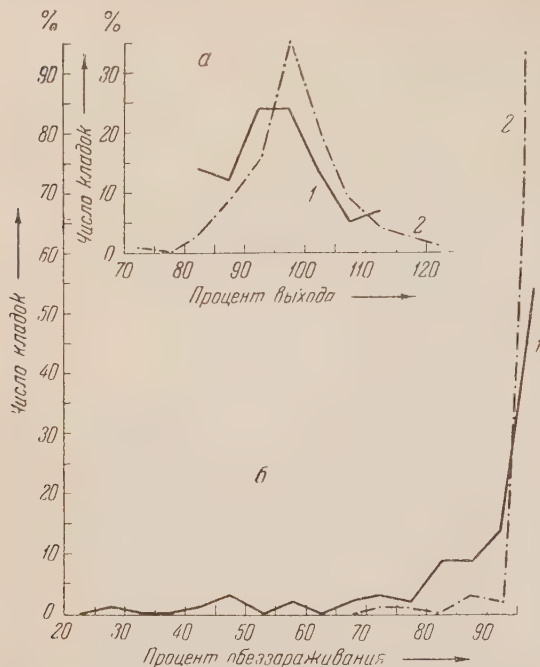


Рис. 2. Распределение процентов выхода гусениц (а) и процента обеззараживания (б). 1 — зимующая гrena, 2 — оживленная гrena

число кладок (54% кладок зимующей грены и 93% — оживленной) характеризуются обеззараживанием на 95—100%. Обеззараживание ниже 80% встречается в оживленном материале как исключение — всего 2%, а в зимующем только 14%. При таком распределении обычные способы статистической обработки с вычислением биометрических констант: квадратического отклонения, ошибки, коэффициента корреляции — неприменимы, поэтому мы иллюстрируем результаты эксперимента только посредством графиков, процентов и средних, вычисленных по сумме всех вариантов.

На рис. 3 показано распределение числа спор на одно поле зрения в опыте и контроле обеих серий. Весь материал был разбит на четыре группы: I — практически полное обеззараживание (в этой группе в 38 зимующих и 40 оживленных кладках спор не обнаружено, в остальных число их было менее 5 на 100 полей зрения); II — очень слабое заражение (от 5 до 10 спор на 100 полей зрения, или 0,05—1 на одно поле); III и IV группы вошли кладки с относительно высоким заражением (от до 10 спор и более на одно поле зрения).

Все приведенные иллюстрации подтверждают на статистически достоверном материале сделанные ранее выводы о высоком обеззараживаю

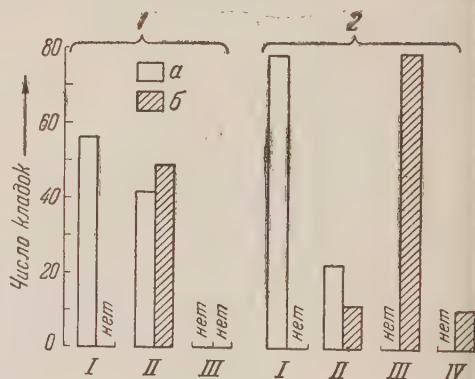


Рис. 3. Сопоставление заражения в опыте (а) и в контроле (б). 1 — зимующая гrena, 2 — оживленная гrena. Интенсивность заражения: I — заражения нет, II — 0,05—1, III — 1—10, IV — >10

щем действии выбранной нами для проверки термической дозы (46°, 2 часа с тепловой подготовкой, возраст 2,5 суток). Проценты обеззараживания оказались близкими к тем, которые были определены в прежних работах (1,2): 96—98 при экспозициях 1/2—3 часа на смеси оживленной грены и 99,32 в изолированных кладках, 90—95 при экспозиции 2—6 час. на смеси зимующей грены и 94,40% в изолированных кладках.

Большее обеззараживание оживленной грены по сравнению с зимующей обусловлено, по-видимому, несколько меньшей интенсивностью заражения и главным образом более высоким заражением в контроле, поскольку мы определяем процент обеззараживания отношением числа спор в опыте к числу спор в контроле (табл. 1 и 2, рис. 3).

На изолированных кладках мы имели возможность выяснить, зависит ли величина процента обеззараживания от исходного заражения подвергающейся термической обработке грены. В табл. 2 приведено сопоставление числа спор в подопытных и контрольных половинах кладок. Контрольные

Таблица 2

Сопоставление числа спор в подопытных и контрольных половинах кладок

	Число кладок	Исходн. заражение		Среднее остаточное заражение в опыте	Средний процент обеззараживания
		пределы	средняя		
Зимующая грена	24	0,05—0,40	0,19	0,03	81,51
	24	0,40—1,00	0,66	0,06	89,79
	27	1,00—1,70	1,33	0,09	93,79
	25				
	100	1,70—7,00	1,72	0,12	95,12
Оживленная грена	29	0,05—2,00	1,13	0,03	95,54
	26	2,00—4,00	2,78	0,02	99,27
	25	4,00—8,00	5,70	0,06	99,01
	20				
	100	8,00—108,0	16,85	0,06	99,54

половины были разбиты условно на четыре приблизительно равные по численности группы с разной интенсивностью заражения. В каждой группе было вычислено среднее остаточное заражение в соответствующих данной группе подопытных половинах кладок и средний процент обеззараживания. Приведенные цифры говорят об очень небольшом увеличении остаточного заражения в образце по мере возрастания интенсивности заражения контроля. В то же время процент обеззараживания больше в кладках с более интенсивными заражениями. Это свидетельствует о том, что небольшое повышение остаточного заражения в опыте не влияет на результат обеззараживания, так как величина его зависит от высоты исходного заражения. Следовательно, чем выше исходное заражение, тем больше процент обеззараживания. Так как остаточное заражение в опыте незначительно и выражается близкими нулю цифрами, то, по-видимому, в лучших сочетаниях возраста грены и термической дозы мы получаем предельное снижение заражения, далее которого обеззараживание термическим методом пока невозможно.

Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
21 I 1959

Лаборатория экспериментальной эмбриологии
им. Д. П. Филатова

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. А. Беднякова, В. Н. Верейская, ДАН, 119, № 2 (1958).
² Т. А. Беднякова, В. Н. Верейская, ДАН, 122, № 4 (1958).

Е. Д. ЛОГАЧЕВ

О СТРОЕНИИ И ТКАНЕВОЙ ПРИРОДЕ КУТИКУЛЯРНЫХ ПОКРОВОВ ЦИСТИЦЕРКОВ

(Представлено академиком К. И. Скрябиным 21 I 1959)

В ранее опубликованных работах (¹⁻⁵) мы обосновали положение о том, что пограничная, покровная ткань (кутикула) ленточных червей представляет собой производное ткани внутренней среды. Субкутикулярный клеточный слой (так называемый погруженный эпителий по другим авторам) у цестод мы нашли возможным рассматривать как особую форму соединительной ткани, развившейся дивергентно и в связи с особыми паразитическими условиями существования принявшей новую для нее функцию — пограничную.

Как следствие новой функции появилась новая форма покровной ткани — соединительнотканная кутикула (⁵).

В связи с этими положениями значительный интерес представляет сравнительное изучение строения и развития покровных тканей у личиночных форм ленточных гельминтов. В результате приспособления к паразитированию в нескольких хозяевах некоторые ткани личинок цестод представляют не что иное, как эмбрионально приспособительные (ценогенетические) образования. Как известно, ценогенетические органы и провизорные ткани могут развиваться из тех же зачатков, что и ткани взрослого организма, и нести аналогичную функцию (⁶).

В имеющейся литературе есть указания на отсутствие эпителиальных элементов у личиночных форм цестод ((^{7,8}) и др.). Так, Янг (⁷), изучавший развитие *Cysticercus pisiformis*, пришел к выводу, что кутикула у него развивается из основного вещества, вернее из простых соединительнотканых волокон, посредством отложения среди них цементного вещества. При этом возникновение кутикулы у указанного цистицерка осуществляется до дифференцировки субкутикулярного клеточного слоя.

Наши собственные наблюдения касаются морфологии и развития кутикулы и подлежащих клеточных элементов (субкутикулярного слоя) у *Cysticercus cellulosae* — финны свиного цепня. Мы исследовали цистицерков разной величины, применяя ряд гистологических методов, в совокупности позволивших разобраться в строении изучаемых образований и в их генетических взаимоотношениях.

Кутикулярный покров у цистицерка выстилает свернутый в пузырек сколекс и его продолжение и затем покрывает пузырь снаружи, отграничивая его от тканей промежуточного хозяина (свиньи). Покров, выстилающий пузырь снаружи и переходящий на сколекс, представлен ясно выраженным толстым слоем кутикулы. Вся масса кутикулярного слоя здесь состоит из однородного гомогенного вещества. Лишь с очень большой натяжкой в кутикулярном слое можно усмотреть наружный отпадающий слой, соответствующий *pars decidua* покровной кутикулы взрослых форм (²). Кроме того, в слое кутикулы цистицерка совершенно отсутствует волокнистая базальная часть — *pars fibrata*. Вместо нее существует непосредственно под гомоген-

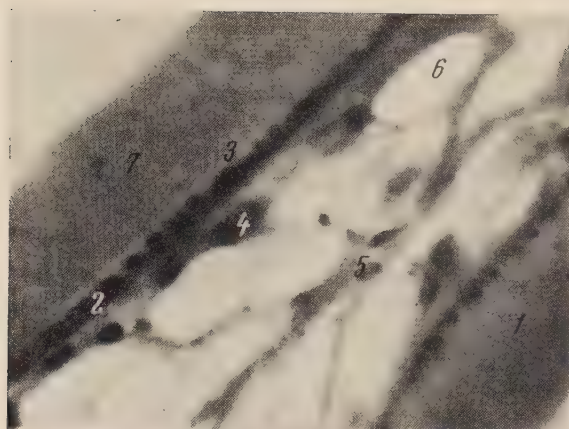


Рис. 1. Разрез складки покровной ткани цистицерка в области переходной зоны. 1 — кутикула, 2 — мускульные волокна, 3 — базальный слой вещества кутикулы, 4 — десмоцит, 5 — протоплазматическая сеть, образованная отростками десмоцитов, 6 — лакуны, 7 — ядроподобные зерна в кутикуле. 1000 \times . Окраска железным гематоксилином

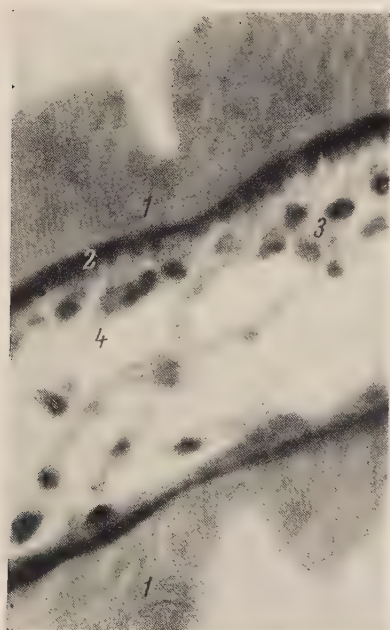


Рис. 2. Разрез складки покровной ткани цистицерка в области шейки. 1 — кутикула, 2 — мускулатура, 3 — амебоциты, 4 — молодые десмоциты. Окраска железным гематоксилином. 1000 \times



Рис. 3. Фрагмент продольного разреза крючка сколекса. 1 — корковый слой, 2 — мозговой слой. Окраска железным гематоксилином. 1000 \times

ным слоем решетка из идущих во взаимно перпендикулярных направлениях мускульных волокон.

Необходимо отметить, что кутикулярный покров, выстилающий шейку и ее продолжение, у цистицерка собран в складки и поэтому на разрезах кутикулярный покров с подлежащей тканью перерезается всегда во всевозможных направлениях.

На рис. 1 и 2 представлены фрагменты разрезов складок покровной ткани в переходной зоне, т. е. в месте перехода продолжения шейки на стенку пузыря цистицерка.

Мускульные волокна отделяют кутикулу от основного вещества соединительной ткани, хотя это отделение лишь относительно, ибо на тангенциальных разрезах видно, что пространства между перпендикулярно идущими волокнами довольно велики. Даже при небольшом увеличении видны отчетливые прямоугольные или квадратные пространства мускульной решетки. Таким образом, принимая нашу классификацию слоев кутикулы цестод⁽²⁾, покровную кутикулу исследованного цистицерка можно сравнить лишь с одним блестящим слоем (*pars lucida*) таковой взрослых форм.

В некоторых местах кутикула образована не сплошным слоем, а обнаруживает различной глубины выемки, как это видно на рис. 2.

Субкутикулярный клеточный слой в обычном его понимании у цистицерка отсутствует. Никаких веретеновидных эпителиально расположенных клеток под кутикулой нет. Под решеткой из мускульных волокон имеется слой уплотненного основного вещества соединительной ткани, образованного тесно прилежащими к слою мускулатуры телами отростчатых десмоцитов (рис. 1, 4). Отростки последних в более глубоких слоях соединяясь образуют сетчатую структуру соединительной ткани с крупными лакунами, прижизненно заполненными тканевой жидкостью (рис. 1, 5, 6). Здесь же под мускулатурой можно видеть амебоциты и молодые десмобластические элементы (рис. 2, 3, 4).

Слой ткани, который в данном случае соответствует субкутикулярному клеточному слою, представляет участок, в котором наблюдается оживленная выработка основного вещества соединительной ткани элементами десмобластического ряда ее. Как видно на рис. 1 и 2, ниже этого уплотненного слоя находится обычная волокнистая соединительная ткань.

Покровную кутикулу у *Cysticercus cellulosae* возможно представить себе лишь как производное основного вещества соединительной ткани, вырабатываемого десмоцитами и проникающего через решетчатый слой мускулатуры. Следует отметить, что базальная часть кутикулы, прилежащая к решетке мускульных волокон (см. рис. 1, 3), окрашивается подобно эктоплазме десмоцитов.

Таким образом, кутикулу, покрывающую сколекс и наружную стенку финны, необходимо рассматривать как результат эктоплазматической деятельности десмоцитов. Очень часто на срезах можно обнаруживать в некоторых участках кутикулы наличие волокнистых образований.

При окраске железным гематоксилином в слое кутикулы обнаруживаются постоянно черные зерна, которые легко принять за ядра или их остатки. Они имеют размеры в пределах 0,5—1 μ (см. рис. 1, 7), а некоторые еще меньше. На препаратах можно проследить их непрерывное расположение от поверхности кутикулы, через ее толщу, вплоть до протоплазмы отдельных амебоцитарных блуждающих элементов соединительной ткани. Эти структуры не являются ядерным веществом, так как обнаруживают отрицательную фельгеновскую реакцию. По-видимому, это не что иное, как отмеченные при фиксации питательные вещества, проникающие из организма хозяина в организм цистицерка.

Большой интерес представляет развитие крючьев на сколексе исследованного цистицерка. Изучая разрезы очень мелких и сравнительно более крупных цистицерков, мы не смогли уловить момент начала закладки крючьев. В развивающемся же крючке различается наружный прозрачный (корковый)

слой (рис. 3, 1) и внутренний, мозговой (рис. 3, 2). Корковый слой окрашивается подобно эктоплазме и волокнам десмоцитов, тогда как мозговой слой окрашивается интенсивно и нередко содержит деградирующие десмобластические элементы соединительной ткани. У сформированных крючьев следов внутреннего слоя не остается.

Исходя из изложенного, мы приходим к основному выводу о том, что покровная кутикула *Cysticercus cellulosae* — производное ткани внутренней среды, специализированная структура, развивающаяся в результате эктоплазматической деятельности десмобластических элементов.

Необходимо отметить тот факт, что кутикула, покрывающая снаружи пузырек цистицерка, представляет ценогенетическую ткань, функционирующую как орган всасывания трофических продуктов. Развивается же она из тех же зачатков (ткани внутренней среды), что и покровная кутикула взрослых форм ⁽⁵⁾.

Кемеровский государственный
медицинский институт

Поступило
20 XII 1958

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Д. Логачев, ДАН, 89, № 5 (1953). ² Е. Д. Логачев, ДАН, 103, № 5 (1955). ³ Е. Д. Логачев, Н. А. Федюшина, ДАН, 103, № 6 (1955). ⁴ Е. Д. Логачев, Рефераты научных работ Омского отделения общества анат., гистол. и эмбриол., 1 (1956). ⁵ Е. Д. Логачев, Тр. Омского мед. инст. им. М. И. Калинина, 19 (1956). ⁶ А. Г. Кнорре, Усп. совр. биол., 21, 3 (1946). ⁷ R. T. Young, Zool. Jahrb., 26, 2 (1908). ⁸ W. L. Wisniewski, Memoires de l'Académie Polonaise des sciences et des lettres, Sér. B, 2 (1930).

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

Том 125

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

1. МАТЕМАТИКА

- Б. Г. Авербух.** Алгебраическое строение групп внутренних гомологий 11
- В. С. Виденский.** Обобщения теоремы А. А. Маркова об оценке производной многочлена 15
- Э. И. Гольденгершель.** О росте решений систем интегральных уравнений типа Вольтерра 19
- М. Б. Капилевич.** К теоремам единственности сингулярных задач Дирихле—Неймана 23
- Г. И. Кац.** Обобщение функции на локально компактных группах и разложение регулярного представления 27
- М. Г. Крейн.** Об интегральном представлении непрерывной эрмитовой индефинитной функции с конечным числом отрицательных квадратов 31
- А. В. Кужель.** Спектральный анализ неограниченных несамосопряженных операторов 35
- Р. М. Минц.** Предельный цикл в трехмерном пространстве с одним характеристическим показателем, отличным от нуля 38
- М. Л. Расулов.** Асимптотическое представление решений граничных задач с комплексным параметром для уравнений эллиптического типа 42
- З. И. Рехлицкий.** Признаки ограниченности решений линейных дифференциальных уравнений с несколькими запаздываниями аргумента 46
- В. К. Саульев.** О численном интегрировании уравнения теплопроводности 48
- Иштван Фенье.** О теории интегральных операторов типа Вольтерра 51
- М. И. Вишик и Л. А. Люстерник.** Асимптотическое поведение решений дифференциальных уравнений с большими и быстро изменяющимися коэффициентами 247
- М. Б. Капилевич.** К теории линейных дифференциальных уравнений с двумя перпендикулярными линиями параболности 251
- М. И. Каргаполов.** К теории \bar{Z} группы 255
- Н. П. Корнейчук.** О приближении периодических функций, удовлетворяющих условию Липшица, суммами Бернштейна — Рогозинского 258
- М. А. Крейнс и З. М. Кишкина.** О приближении функциями пятого номографического порядка 262
- Я. Б. Ливчак.** Локально разрешимая группа, не являющаяся RN^* -группой 266
- А. М. Олевский.** Безусловная суммируемость функциональных рядов 269
- М. Л. Расулов.** Метод контурного интеграла для решения смешанных задач 273
- Ю. А. Розанов.** Линейная экстраполяция многомерных стационарных процессов ранга I с дискретным временем 277
- В. Б. Уваров.** Теория второго решения дифференциального уравнения для классических ортогональных полиномов 281
- Д. Б. Фукс и А. С. Шварц.** Циклические степени полиэдра и проблема вложения 285
- З. Г. Шефтель.** О точке, наименее уклоняющейся (в смысле П. Л. Чебышева) от данной конечной системы плоскостей и точек 289
- М. Ш. Бирман.** Возмущения квадратичных форм и спектр сингулярных граничных задач 471
- Р. В. Гамкрелидзе.** Оптимальные по быстродействию процессы при ограниченных фазовых координатах 475
- В. А. Кондратьев.** Расширения линейных дифференциальных операторов 479
- Л. Н. Королев.** О переключающей функции устройства поисков по таблице 482
- В. Б. Лидский.** Несамосопряженные операторы, имеющие след 485
- Ю. И. Манин.** О модулях поля алгебраических функций 488
- Л. В. Овсянников.** Групповые свойства уравнения нелинейной теплопроводности 492

И. А. Парадоксова. Об одном полном сингулярном интегральном уравнении с автоморфным ядром	496	А. Н. Тихонов. Об асимптотическом поведении интегралов, содержащих бесселевы функции	982
Ю. И. Черский. К решению краевой задачи Римана в классах обобщенных функций	500	М. М. Альперин. Об одном новом способе линеаризации гамильтониана свободной частицы	1183
Л. А. Чудов. Об особенностях решений линейных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами	504	Ф. А. Березин. Аналог теоремы Ливилля для симметрических пространств с отрицательной кривизной	1187
Д. М. Эйдуc. О принципе предельного поглощения	508	К. Х. Даукер. О теореме вырезания	1190
Н. У. Аракелян. Уточнение некоторых теорем М. В. Келдыша об асимптотическом приближении целыми функциями	695	Н. М. Коробов. О частично рациональных тригонометрических суммах	1193
Л. М. Глуcкин. Полугруппы топологических отображений	699	М. А. Наймарк. О разложении на неприводимые представления тензорного произведения представления основной серии и представления дополнительной серии собственной группы Лоренца	1196
Е. Голод. О кольце когомологий конечной p -группы	703	Я. Синай. О потоках с конечной энтропией	1200
М. М. Джрбашян. Разложение мероморфных функций в обобщенный ряд Маклорена	707	С. Н. Шиманов. О почти периодических колебаниях в нелинейных системах с запаздыванием	1203
И. А. Ибрагимов. Некоторые предельные теоремы для стационарных в узком смысле вероятностных процессов	711	Н. Н. Яненко. Об одном разностном методе счета многомерного уравнения теплопроводности	1207
А. И. Каландия. О приближенном решении одного класса сингулярных интегральных уравнений	715	II. МЕХАНИКА	
М. Б. Капилевич. К теории вырождающихся эллиптических дифференциальных уравнений класса Бесселя	719	В. А. Боднер, В. Е. Овчаров и В. П. Селезнев. О синтезе инвариантных демпфированных инерциальных систем с произвольным периодом	986
Е. И. Ким. Об условиях разрешимости одного класса интегро-дифференциальных уравнений	723	И. С. Герасимов. Об одной автомодельной динамической задаче для конической оболочки	989
В. Кузминов. О гипотезе П. С. Александрова в теории топологических групп	727	Г. Е. Кузмак. О вычислении асимптотических решений, соответствующих незамкнутым интегральным кривым эталонного уравнения	992
Н. А. Лебедев. Об одном способе аналитического продолжения степенных рядов	730	Е. И. Харламова. Один частный случай интегрируемости уравнения Эйлера — Пуассона	996
И. В. Ливартовский. Некоторые критерии устойчивости решения системы дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями	733	III. ГИДРОМЕХАНИКА	
С. Г. Михлин. Две теоремы о регуляризаторах	737	А. Арынов. Установившиеся релятивистские течения газа с осевой симметрией (вихревой случай)	512
А. А. Нудельман. Об одном обобщении некоторых результатов П. Л. Чебышева и А. А. Маркова	740	А. С. Монин. К теории локально изотропной турбулентности	515
С. Д. Эйдельман. О поведении решений параболической системы в окрестности изолированной особой точки	743	А. А. Сергиенко и В. К. Грецов. Переход турбулентного пограничного слоя в ламинарный	746
Л. А. Айзенберг. О граничных свойствах функций, аналитических в двойных областях	959	П. И. Чушкин. Дозвуковое обтекание эллипсов с циркуляцией	748
А. В. Гладкий. О классе нильпотентности группы с δ -базисом	963	С. С. Литвинков. Об одной граничной задаче для линеаризованных уравнений гидродинамики вязкой жидкости	998
Л. А. Гусаров. О задаче Коши для некоторых систем линейных уравнений с частными производными	966	С. В. Иорданский. Об асимптотике осесимметричной расходящейся волны в тяжелой жидкости	1211
Е. П. Доженко. Построение на нигде не плотном континууме нигде не дифференцируемой функции, разлагающейся в ряд по рациональным функциям	970	IV. ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ	
Н. Н. Мейман. К теории функций классов HV и B	974	Р. В. Серебряный. Об изгибе толстой полубесконечной плиты, опирающейся на упругий слой конечной толщины	752
Е. Ф. Разумова. Множество точек ветвления при неединственности в одну сторону	978		

А. С. Вольмир и В. Е. Минеев. Экспериментальное исследование процесса выпучивания оболочки при динамическом нагружении 1002

V. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. А. Тирский. Два точных решения нелинейной задачи Стефана 293
Н. Н. Рыкалин. Об условиях расщепления решений линейного параболического уравнения на ортогональные составляющие 519
И. С. Аржаных. О дифференциальных уравнениях движения мезонного заряда 1215

VI. ФИЗИКА

Э. Е. Вайнштейн, Б. И. Котляр и Г. А. Шапиро. Исследование тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения железа в некоторых антиферромагнетиках и ферритах 55
А. Г. Горелик и В. В. Костарев. Радиоэхо некоторых невидимых объектов тропосферы 59
Л. И. Гудзенко. Малые флуктуации в существенно нелинейной автоколебательной системе 62
Е. С. Фрадкин. Функциональное уравнение и операторное решение для статистической суммы 66
В. К. Аблеков и И. Л. Фабелинский. Спектральное исследование света, рассеянного вязкими жидкостями и твердыми аморфными телами 297
А. Н. Ахмезер. Об отражении электромагнитных волн турникетным соединением 300
С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков, П. В. Закулов и Ю. И. Логачев. Изучение земного корпускулярного излучения и космических лучей при полете космической ракеты 304
О. В. Саночкин. К теории неидеального бозе-газа 308
Е. С. Фрадкин. Метод функций Грина в квантовой статистике 311
М. В. Волькенштейн. О строении и механических свойствах аморфных полимеров 523
П. В. Киренский и В. В. Ветер. Измерение ширины граничного слоя между доменами в ферромагнетиках 526
А. П. Комар, Н. В. Волкенштейн и Г. В. Федоров. Изменение знака постоянной Холла при упорядочении атомов в сплаве 530
А. К. Лаврухина, Л. Д. Ревина и Э. Е. Раковский. Функции возбуждения осколков деления лантана 532
А. А. Веденов. Новый метод в классической статистической физике 757
О. Ци-ди и Б. С. Ратнер. Исследование выхода реакции (γp) на различных изотопах кадмия 761
Г. Г. Дорфман. Свойства и состояние атомов металла в некоторых металлоорганических соединениях 765
А. А. Шульгин. Влияние поля кристаллической решетки на колебания ионов NO_3^- (или CO_3^{2-}) по данным ин-

фракрасных спектров нитрата натрия и кальцита 767
Е. М. Белавцева. Закон взаимозаместимости для процесса разупорядочения некоторых кристаллических соединений под действием электронов средних энергий 1005
М. А. Мокульский, Ю. С. Лазуркин, М. Б. Фивейский и В. И. Козин. Обратимые радиационно-механические эффекты в полимерах 1007
И. К. Кикоин, Е. М. Буряк и Ю. А. Муромкин. Об аномально большом эффекте Холла в ферромагнитном сплаве хром—теллур 1011
Б. В. Чириков. Прохождение нелинейной колебательной системы через резонанс 1015
Г. Я. Васильев, А. Ф. Усатый, Ю. С. Лазуркин и А. А. Марков. Измерение люминесценции и потемнения стекол в процессе их облучения в ядерном реакторе 1219
К. С. Вульфсон. Применение электронно-оптических преобразователей для точного измерения скорости распространения света 1223
Я. И. Грановский. О свойствах К-мезона 1225
Ю. А. Изюмов. Замечание относительно формализма Гольштейна и Примакова 1227
Л. М. Лямшев. К вопросу о принципе взаимности в акустике 1231
В. П. Цветков. Исследование зависимости коэффициента структурной диффузии от температуры 1235
Чэнь Чунь-сянь. Метод учета корреляции в системе многих частиц 1238

VII. ГЕОФИЗИКА

М. А. Каллистратова. Экспериментальное исследование рассеяния звука в турбулентной атмосфере 69
Н. И. Федорова. Спектры ночного неба в области 8200—11200 Å 535
В. Н. Жарков. О физической природе волноводов (слоев с пониженной скоростью) в верхних областях оболочки на глубинах 50—200 км 771
С. В. Пшеная-Северин. О сближении аэрозольных частиц в звуковом поле под действием гидродинамических сил Осена 775
А. И. Фельзенбаум. Обобщение классической теории установившихся морских течений на случай переменного коэффициента вертикального обмена 779
М. Д. Хаскинд. Промерзание грунта под изолированной поверхностью 782
В. М. Бовшевсеров, А. С. Гурвич и Л. Р. Цванг. Прямые измерения турбулентного потока тепла в приземном слое атмосферы 1242
А. М. Обухов. О влиянии архимедовых сил на структуру температурного поля в турбулентном потоке 1246
К. Ф. Тяпкин. Интерпретация гравитационных аномалий, обусловленных конечными цилиндрическими телами 1249

VIII. ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Б. Т. Коломиец и Т. Н. Мамонтова. Внутренний фотоэффект в расплавленном халькогенидном стекле . . . 73
- Л. Н. Малахов и Ю. В. Воробьев. Электронно-оптический метод исследований микрополей . . . 315
- Ю. Б. Падерно, Т. И. Серебрякова и Г. В. Самсонов. Соединения тербия с бором и электронная конфигурация атома тербия . . . 317
- М. И. Чаевский. О механизме повышения усталостной прочности упруго-пластических материалов, склонных при циклическом деформировании к упрочнению, под воздействием сильных поверхностноактивных веществ . . . 319
- А. М. Елистратов и П. Р. Камаджиев. Рентгеновское исследование распада пересыщенных твердых растворов с малой растворимостью. Распад пересыщенного твердого раствора меди в германии . . . 538
- Р. Н. Рубинштейн и В. И. Фистуль. Определение поверхностной проводимости полупроводниковых кристаллов методом «клина» . . . 542
- В. Т. Борисов, В. М. Голиков и Г. В. Шербедянский. Влияние последствий фазового превращения на диффузию . . . 786
- Б. М. Струнин. К статистической теории растяжения металлов . . . 790
- В. П. Шестопалов и Б. В. Кондратьев. Пространственный резонанс в спиральном волноводе, помещенном в магнитоэлектрическую среду . . . 794
- А. В. Мень, С. Я. Брауде и В. И. Горбач. Флуктуации фазовых фронтов при распространении десятисантиметровых радиоволн над поверхностью моря . . . 1019
- П. Ф. Фильчаков. О моделировании осесимметричных потенциальных полей на электропроводной бумаге . . . 1023
- А. Гутман. Применение асимптотического интегрирования волнового уравнения к решению некоторых волноводных и резонаторных задач . . . 1252

IX. ХИМИЯ

- Л. Г. Берг, С. Д. Громаков и И. В. Зороазкая. Ускоренный метод изучения диаграмм состояния методом термографии . . . 75
- Ю. А. Горин, С. Г. Соколова и А. К. Пантелева. Выяснение роли метанола в контактном процессе получения дивинила из спирта с применением метанола, меченного радиоактивным углеродом C^{14} . . . 79
- Я. Б. Гороховатский, М. Я. Рубаник и К. М. Холявенко. Влияние продуктов реакции на скорость каталитического окисления этилена . . . 83
- Ч. В. Копецкий, В. Ш. Шехтман, И. В. Агеев и Е. М. Савицкий. Образование σ -фаз в системах рений—марганец и рений—железо . . . 87

- Н. К. Чочетков, Б. П. Готтих, В. Г. Винокуров и Р. М. Хомутов. О конфигурации β -хлорвинилкетонных и стереохимии реакции кетовинилирования . . . 8
- Е. А. Морозова и С. М. Женодарова. Получение циклогексапептида циклоглицил-лейцил-глицил-глицил-лейцил-глицина . . . 9
- А. Н. Несмеянов и М. И. Рыбинская. Синтез солей 2,8-диарил-1,9-диазадегидрохинолизиния . . . 9
- Д. В. Сокольский и М. С. Ержанова. О возможности продолжительной работы платино-палладиевого катализатора (1:3) . . . 10
- А. В. Топчиев, В. П. Алания и Л. И. Полтавцева. Нитрование изопентана в присутствии четыреххлористого углерода . . . 10
- Е. А. Боом. О двойном силициде натрия в модифицированных алюминий-кремниевых сплавах типа силумин . . . 32
- И. И. Корнилов и П. Т. Коломыцев. Непрерывные металлургические твердые растворы в тройной системе $Co-Ni-V$. . . 32
- Н. К. Чочетков, Э. Е. Нифантьев и В. Н. Кулаков. Синтез β -кетомеркапталей . . . 32
- А. Н. Несмеянов, Т. П. Толстая, Л. С. Исаева. Реакция солей дифенилбромония, дифенилхлорония и трифенилоксония с металлами . . . 3
- В. Е. Плющев, Ю. П. Симанов и И. В. Шахно. О бета-модификации сподумена . . . 3
- Б. Я. Тейтельбаум. Об изотермах свойств двойных жидких систем, один из компонентов которых изомеризуется под влиянием другого . . . 3
- А. В. Топчиев, Г. М. Мамедалиев, М. В. Шишкина, Г. Н. Аникина и А. Н. Кислинский. Каталитическое превращение циклогексена в тетраалкилбензолы и диметилнафталиновые углеводороды . . . 34
- Н. И. Шуйкин и И. Ф. Бельский. Гидрирование фурановых соединений на скелетных катализаторах . . . 34
- Н. И. Шевердина, И. Е. Палева, Е. Д. Делинская и К. А. Кочешков. Кристаллические кадмийорганические соединения класса $RCdX$ в алифатическом ряду . . . 34
- В. Л. Вайсер и В. Д. Рябов. Алкилирование 1,1-(4,4'-диокси)-дифенилэтана изобутиленом . . . 54
- Г. Я. Ванга и Т. Т. Думпис. Новый способ синтеза 2-аралкилиндандионов-1,3 . . . 54
- М. Г. Воронков и В. П. Давыдова. Фотохимическое хлорирование органиохлорсиланов хлористым сульфуром . . . 54
- А. И. Григорьев, А. В. Новоселова и К. Н. Семененко. О соединении оксиацетата бериллия с двуокисью азота . . . 54
- С. С. Новиков, К. К. Бабиевский и

И. С. Корсакова. Синтез аци-нитро- алкансв	560	Т. Н. Плиев. К исследованию конфор- мационного равновесия в ряду транс-1,2-дигалоидоциклогексанов	1044
А. Н. Родионов, В. Н. Васильева, Т. В. Талалаева, Д. Н. Шигорин, Е. Н. Гурьянова и К. А. Кочешков. Межмолекулярная литиевая связь, ее влияние на колебательные спек- тры молекул и дипольные мо- менты	562	А. В. Топчиев, В. П. Алания и И. С. Мазель. Полимеризация β -нитро- стирола	1048
А. В. Топчиев, Г. М. Мамедалиев и С. М. Алиев. Получение ароматиче- ских углеводов каталитичес- кой переработкой продуктов термиче- ского крекинга и пиролиза нефти	566	Н. И. Шуйкин, И. Ф. Бельский и Р. А. Караханов. Термическая изо- меризация 2-метил-4,5-дигидрофу- рана в метилциклопропилкетон	1051
В. Л. Вайсер, В. Д. Рябов и А. К. Остроумова. Каталитическая кон- денсация 9-метил (1,2), (7,8)-добен- зоксантена с аммиаком	799	Р. В. Визгер, Е. К. Савчук и М. П. Пономарчук. Исследование меха- низма гидролиза нитрозамещенных арилсульфонатов с помощью O^{18}	1257
Г. Я. Ванат и Э. Я. Лукевиц. Взаимо- действие 2-бром-2-фенилиндандиона- 1,3 с реагентами Гриньяра	801	М. И. Кабачник, Е. Н. Цветков и Чжан-Жун-юй. Метод синтеза кис- лых эфиров фосфинистых кислот	1260
О. Н. Гришина и В. К. Гоник. Иссле- дование углеводов ряда цикло- гексана и декалина в керосине бав- линской (девонской) нефти	803	М. М. Котон, Т. М. Киселева и В. А. Парибок. Синтез полимери- зующихся метакрилатов триалкил- (арил)-олова	1263
Л. А. Казизица, Л. Л. Полстянко, Н. Б. Куплетская, Т. Н. Игнатович и А. П. Терентьев. Исследование спектров поглощения алкилиминов о-оксикарбонильных соединений	807	А. Н. Несмеянов, О. А. Реутов, Т. П. Толстая, О. А. Птицына, Л. С. Иса- ева, М. Ф. Турчинский и Г. П. Боч- карева. Металлоорганические соеди- нения из двойных солей галоидных металлов и галогенониев	1265
В. К. Кусков и Т. А. Бурцева. Полу- чение алкилфенолов алкилированием трифенилбората	811	Е. С. Покровская и М. В. Шишкина. О некоторых алкилциклопентил- бензолах	1269
Б. И. Лосев и Э. А. Былина. Пара- магнитный резонанс в ископаемых углях	814	Е. А. Тимофеева, Н. И. Шуйкин, Ю. Н. Плотиников и В. М. Клейменова. Дегидрогенизация n -гексана на алю- мохромовом катализаторе	1272
Н. Ф. Орлов и Б. Н. Долгов. Новые ме- тоды синтеза органосилоксанов	817	А. В. Топчиев, Н. Э. Цытович и Е. С. Покровская. Синтез и свойства алкилинданов с заместителем в пяти- членном кольце	1275
Н. Е. Подклетнов. Индивидуальные циклогексановые углеводороды бен- зиновых фракций нефтей Сахалина	821	Х. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ	
К. И. Портной, Г. В. Самсонов и Л. А. Солонникова. К вопросу о взаимодействии карбида бора с крем- нием	823	Р. Ф. Васильев, О. Н. Карпунин и В. Я. Шляпинтох. Хемилюминес- ценция в реакциях термического распада	106
А. Н. Пудовик и Ф. Н. Ситдикова. Присоединение неполных эфиров кис- лот фосфора к нитроизоамилену и этилвинилсульфону	826	Ю. Н. Денисов и Я. К. Трошин. Пуль- сирующая и спиновая детонация га- зовых смесей в трубах	110
А. В. Топчиев, В. П. Алания и Г. И. Черный. К вопросу о взаимодействии олефинов и аммиака в присутствии окисных катализаторов	829	С. С. Кабалкина. Исследование кри- сталлической структуры нормальных парафинов n -C ₃₀ H ₆₂ и n -C ₃₂ H ₆₆ при высоком давлении	114
В. С. Абрамов и Н. А. Ильина. Реакция альдегидов и кетонов с амидами фос- фористых кислот	1027	П. В. Козлов, В. А. Кабанов и А. А. Фролова. Исследование деформации кристаллических пленок из поли- этилентерефталата	118
М. Е. Дяткина и М. А. Порай-Кошиц. О новом возможном типе изомерии в октаэдрических комплексах не- которых переходных элементов, в частности Си	1030	А. А. Кулиев и А. П. Розловский. Новая методика изучения адиабатиче- ского воспламенения и ее при- менение для хлоро-водородной смеси	122
Ф. Н. Мазитова, Я. М. Паушкин. Влияние строения нитросоединений ароматического ряда на скорость каталитического восстановления	1033	А. С. Лашко. О структуре жидкого сплава AuSn	126
А. Н. Несмеянов, Л. А. Казизица, Б. В. Локшин и В. Д. Вильчевская. Инфракрасные спектры некоторых алкил- и арилферроценов	1037	Л. А. Ловачев. Теория цепочно- теплого распространения пламени с двумя активными центрами и раз- личными коэффициентами их диф- фузии	129
А. А. Петров и В. А. Кормер. О при- соединении литий-этила и литий- бутила к винилалкилацетиленам	1041	Б. И. Лосев, М. А. Троянская и Э. А. Былина. Образование гекса-	

- хлорэтана при γ -облучении четырех-
хлористого углерода 133
- Ю. Н. Любитов и В. М. Полянский.** Расчет новой ячейки для измерения давления насыщенных металлов 135
- И. Л. Розенфельд и Е. К. Оше.** Влияние ионизирующего излучения на электрохимическую активность металлов, покрытых окисными пленками полупроводникового характера 139
- Ст. Г. Христов.** Квантовомеханические эффекты и температурная зависимость скорости электролитического выделения водорода и дейтерия 143
- С. Г. Майрановский, А. А. Файнзильберг, С. С. Новиков и В. А. Климова.** О влиянии отрицательных групп на электрохимическое восстановление связи углерод — галоген в органических соединениях. Полярографическое поведение галогиднитроалканов 351
- Б. А. Мовчан и И. Я. Дзыкович.** Об избирательном проникновении растворенных элементов из жидкой фазы в трещину 354
- В. К. Прохоренко, О. Я. Самойлов и И. З. Фишер.** Об асимметрии распределения координационного числа молекул в воде 356
- Л. Г. Болховитинов.** К теории возбуждения взрыва ударом 570
- А. В. Бондаренко.** Исследование термической дегидратации кристаллического и аморфного кремнезема методом масс-спектрального анализа 573
- А. А. Зансохова, В. Д. Орехов и М. А. Проскурнин.** О роли кислорода в радиолитическом обесцвечивании водных растворов индигокармина 577
- К. И. Матвеев, О. В. Уваров и Н. М. Жаворонков.** Коэффициент разделения изотопов хлора при равновесном испарении HCl 580
- Л. С. Полак и А. Я. Темкин.** К теории радиационной химии 584
- Л. М. Роев и А. Н. Теренин.** Инфракрасные спектры окиси азота в состоянии адсорбции на окисях железа и хрома 588
- Г. В. Самсонов, В. В. Веденеева и А. А. Селезнева.** Сорбция пенициллина полимерными сорбентами 591
- Я. И. Турьян и Г. Ф. Серова.** Полярографические кинетические токи, обусловленные замедленным образованием роданистых комплексов никеля 595
- В. А. Бакаев, В. Ф. Киселев и К. Г. Красильников.** Понижение температуры плавления воды в капиллярах пористого тела 831
- И. Б. Боровский и И. Д. Марчукова.** Метод определения фазового состояния двойных систем 835
- А. А. Зансохова и В. Д. Орехов.** Сенсибилизированное окисление лейкооснования метиленового голубого при радиоллизе в водном растворе **Ярослав Коутецкий и Антонин Фингерланд.** Расчет одноэлектронных квантовомеханических систем, включающих большую подсистему 841
- И. В. Мелихов, М. С. Меркулова и Г. Эвальд.** Общие закономерности соосаждения микропримесей при росте кристаллов 841
- А. С. Черкасов.** О влиянии сопряжения антраценового ядра с двойной связью алкенильного заместителя на спектры флуоресценции и поглощения 841
- Ф. И. Вилесов и А. Н. Теренин.** Изменение фотоэлектрической работы выхода ZnO , NiO и Cr_2O_3 при адсорбции газов и паров 1053
- А. С. Кузьминский, В. Д. Зайцева и Н. Н. Лежнев.** О подавлении каталитического действия поливалентных металлов в каучуках 1057
- В. П. Павлов и Г. В. Виноградов.** Тепловые эффекты при течении и остановке потока аномально вязких тел 1063
- Тза Чюан-синь и З. А. Иофа.** О совместном действии органических катионов и галогидных анионов на выделение водорода на ртутном электроде 1063
- Цу Юн-цао и Ми Тиен-ин.** Механизм анодного образования иона персульфата 1063
- Л. Г. Ганиченко, В. Ф. Киселев и К. Г. Красильников.** Влияние гидратации поверхности кремнезема на адсорбцию алифатических спиртов из растворов 1277
- А. И. Горбанев, Ю. М. Кесслер, Ю. М. Поваров и Э. С. Севастьянов.** Некоторые закономерности свойств растворов сильных электролитов 1281
- А. И. Красильщиков, Л. М. Волчкова, И. К. Бурцева и В. Д. Плясунов.** О механизме межкристаллитной коррозии нержавеющей стали в азотной кислоте 1285
- Е. Н. Миролюбов, М. М. Куртепов и Н. Д. Томашов.** О некоторых особенностях катодного процесса на нержавеющих сталях в растворах азотной кислоты 1288
- М. А. Ривин, Я. Б. Зельдович, В. А. Цукерман, В. В. Софьяна и А. С. Береговский.** Исследование распределения плотности во фронте детонации газовых смесей рентгенографическим методом 1292
- М. В. Савостьянова и Л. Г. Мацинова.** Коллоидное состояние красителей и метакромазия 1294
- В. Н. Шубин и П. И. Долин.** Окислительные свойства атомарного водорода при радиационном окислении ионов двухвалентного железа 1298
- В. М. Юрьев, А. Н. Праведников и**

С. С. Медведев. Влияние продуктов окисления на кинетику окисления цетана	1301	Ю. М. Клейнер. Новые данные о плоче- цене прибрежной части степного Мангышлака	376
XI. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ		Г. И. Тимофеев и Н. С. Ильина. К вопросу о геохимических условиях осаконакопления в бат-байское время в Южном Дагестане	379
А. И. Окунев, А. К. Кирьянов и Б. И. Сергин. Условия равновесия при взаимодействии окиси кадмия с сульфидом кадмия	147	Г. А. Ведерникова. Дифференцирован- ный трапповый массив Падунских порогов на р. Ангаре	601
А. В. Руднева. О составе и условиях образования тагировита	149	М. Ф. Дзвелая. Геологическое строе- ние Колхидской низменности	604
А. М. Архипов, К. А. Мальцов, И. Б. Соколов и П. Г. Старицкий. О влиянии воды на прочность бе- тона	359	В. В. Иванов, Л. Ф. Борисенко и Н. В. Лизунов. Скандий в минералах кварцевых жил и грейзенов одной из интрузий хр. Полоусного	608
А. В. Руднева и Т. Я. Малышева. Непрозрачный рутит	363	И. А. Иванова и И. И. Чудинова. Новые данные по фауне девона Куз- нецкого бассейна	611
А. Г. Шварц и Г. Н. Буйко. Некоторые вопросы влияния температуры вул- канизации на прочностные свой- ства резины из синтетического поли- изопренового каучука СИИ	366	А. Б. Ивановский. К вопросу о страти- графическом положении нижне- лудловского подъяруса в пределах западной части Сибирской плат- формы	614
И. Н. Пласин и Р. Ш. Шафеев. К во- просу о механизме возникновения электрохимической неоднородности поверхности сульфидных мине- ралов	599	А. И. Лященко и С. И. Новожилова. К вопросу о возрасте и расчленении шугуровской свиты верхнего де- вона Волго-Уральской области	616
Б. И. Касаточкин, Г. Г. Петров, З. С. Смуткина и З. Б. Печковская. Физико-химическая природа кок- сования углей	852	Е. Н. Тихвинский. К характеристике рельефа пермской суши юга Татарии и прилегающих районов	618
А. А. Пирогов и А. И. Ковалев. Элек- тронномикроскопическое исследо- вание влияния поверхностно актив- ных добавок на гидратацию пер- иклаза	856	П. А. Карпов. К вопросу о возрасте Прикаспийской впадины	859
Б. Е. Куценко, М. Н. Кулакова, Е. И. Тинякова и Б. А. Долгоплоск. Иницирование процесса полимериза- ции в эмульсиях под влиянием гидроперекиси изопропилбензола и SO ₂	1073	А. И. Летавин и Н. А. Крылов. О пе- реходном комплексе Предкавказья А. А. Никонов. Восстановление неотек- тоники и палеогеографии поздне- ледниковья с помощью эпейрогени- ческого спектра в материковой части Кольского полуострова	866
		И. А. Резанов. О рифейских отложе- ниях Охотского массива	870
		С. К. Самсонов. Несколько слов о ново-каспийской флоре Западной Туркмении	873
XII. ГЕОГРАФИЯ		М. М. Чарыгин и И. В. Безбородова. К истории геологического развития междуречья Пшеха—Кубань на Се- верном Кавказе в верхнеюрское время	876
И. Н. Степанов. Снежный покров как один из факторов образования лессо- видных мелкоземистых толщ	153	А. Д. Щеглов. Главные особенности металлогении южной части Запад- ного Забайкалья	880
Е. Е. Сыроечковский. Опыт биогео- графического районирования суши Антарктики на примере централь- ного сектора Восточной Антарктиды	1077	М. В. Кулинов. Стратиграфическая схема пермских отложений Забай- калья	1081
		Б. П. Маслов. Строматолиты и фации М. С. Нагибина. Схема тектоники Се- верной Маньчжурии	1090
XIII. ГЕОЛОГИЯ		В. С. Саянов. К минералогии глини- стых минералов миоценовых извест- няков северо-западного Причер- номорья	1093
Л. Н. Ботвинкина. О выделении диаге- нетической слоистости	155	К. Р. Чепиков, Ю. П. Ермолова и Н. А. Орлова. Эпигенные минералы как показатели времени прихода нефти в песчаные промышленные коллекторы	1097
В. К. Гавриш. К вопросу о формиро- вании прогибов Днепровско-Донецкой впадины в третичное время	158	Б. П. Бархатов, А. Д. Миклухо-Мак- лай, Е. Ф. Романько и Э. З. Таиров. Новые данные о пермских отложе- ниях Северного Памира	1303
Э. И. Девятова. Морские межлед- никовые отложения бассейна р. Онеги	162		
В. Г. Морозова и Ю. А. Судариков. Керестинская свита верхнего зоце- на Сало-Ергенинской возвышенно- сти и ее стратиграфическое значение	166		
А. И. Архангельский. К стратиграфии угленосных отложений восточного склона хребта Малого Хингана	369		
Л. И. Боголюбова. К вопросу о степе- нях углефикации и стадиях угле- образования бурых углей	372		

А. Б. Вистелиус. К вопросу о происхождении красноцветной толщи по Челикен. Опыт использования абсолютного возраста обломочных минералов для решения задач литологии и палеогеографии.	1307	Литовского массива	1341
XVII. ЛИТОЛОГИЯ			
М. М. Грачевский. Особенности строения и формирования Камско-Кинельской впадины в Куйбышевском Заволжье и Татарии.	1311		
М. А. Карасик. О связи между размерами рудных полей и главнейшими их геохимическими особенностями	1315		
Н. А. Крылов, А. И. Летавин и Я. П. Маловицкий. О геологическом развитии Предкавказья и южной окраины Русской платформы.	1319		
О. А. Липина, О. М. Мкртчян и Р. О. Хачатрян. Кизеловский горизонт юго-западной части Бирской седловины.	1323		
В. М. Синицын. Монголо-сибирский антикклон и региональная зональность эоловых отложений Центральной Азии.	1326		
К. А. Шуркин. О палеозойских псевдоконгломератах Северной Карелии и Кольского полуострова.	1329		
XIV. ГИДРОГЕОЛОГИЯ			
В. Н. Корценштейн. О зоне гелиеносных застойных подземных вод юрских отложений моноклинали Центрального Предкавказья.	179		
XV. МИНЕРАЛОГИЯ			
В. В. Бакакин и Н. В. Белов. О кристаллической структуре хёрбутаита.	383		
И. Д. Зхус и Г. П. Вагина. Глинистые минералы майкопской свиты района Озек Суат.	884		
В. Е. Куман. О некоторых особенностях натрового метасоматоза в Криворожском бассейне.	1100		
XVI. ПЕТРОГРАФИЯ			
Н. Д. Решетняк. Ложнообломочные известняки нижнего карбона юго-западной окраины Донбасса.	170		
И. Д. Гофштейн и М. Б. Рипун. О нахождении вулканогенной породы в меловых отложениях Подолии.	386		
В. Д. Коган. К генезису самородной серы.	1103		
В. В. Лобанова. Роль пиропластического материала в формировании соляной толщи поднятия Западный Азгир.	1106		
Ч. М. Халифа-заде и С. М. Аббасова. Шамозитовые глины из отложений кимериджа юго-восточного Кавказа.	1110		
Л. И. Горбунова. Минералогический состав глин нижнемеловых отложений Северо-Восточного Кавказа.	1333		
Н. Н. Мартыанов. К происхождению овальных форм гранитных пегматитов.	1337		
А. М. Пал. Основные породы кристал-			
XVIII. ГЕОХИМИЯ			
А. И. Смирнов. Новые данные по элементарному составу фосфоритов бассейна Каратау.	177		
Н. Б. Белов и В. И. Симонов. Об изоморфных соотношениях между цирконием и титаном.	888		
Х. И. Амирханов, С. Б. Брандт и Е. Н. Бартницкий. Диффузия радиогенного аргона в полевых шпатах	1345		
XIX. ОКЕАНОЛОГИЯ			
А. Г. Наумов. Количественное распределение зоопланктона в южной части Тихого океана.	621		
А. П. Жузе. Диатомовые в донных отложениях северо-западной части Тихого океана.	891		
В. Ф. Канаев. Новые данные о рельефе дна Центральной части Каролинской котловины.	1115		
Ю. П. Непрочнов. Глубинное строение земной коры под Черным морем к юго-западу от Крыма по сейсмическим данным.	1119		
Н. Н. Сысоев. О течении в океане	1123		
XX. ПАЛЕОНТОЛОГИЯ			
Т. Г. Сарычева и А. Н. Сокольская. О классификации ложнопористых брахиопод.	181		
В. Н. Сукачев, Р. Н. Горлова, А. К. Недосеева и Е. П. Метельцева. О растительности перигляциальных зон центральной части Русской равнины	393		
В. А. Сысоев. Систематика хиолитов	397		
К. В. Корде. Проблематические остатки из кембрийских отложений юго-востока Сибирской платформы.	625		
А. Д. Миклухо-Маклай. О стратиграфическом значении, систематике и филогении штаффеллообразных фораминифер.	628		
А. Б. Ивановский. К вопросу о систематическом положении ордовикских и силурийских зафрентоидных кораллов.	895		
XXI. ЦИТОЛОГИЯ			
В. Н. Беляева и Г. Л. Покровская. Изменение радиочувствительности икры выюна в ходе первых эмбриональных митозов.	632		
Н. В. Головина. Действие высокого гидростатического давления на изолированный мозг белой мыши	636		
Г. И. Роскин и М. Е. Струве. Цитохимия тиоловых групп чувствительных и моторных нейронов.	639		
А. Ф. Чередниченко. Изменения митотической активности клеток лимфатических узлов собаки в зависимости от срока действия лейкоцитарной сыворотки.	898		

И. Б. Токин. О строении ядра и аппарата Гольджи в клетках кишечного эпителия <i>Parascaris equorum</i>	1126
XXII. ГИСТОЛОГИЯ	
Г. Д. Губин и А. К. Юркина. Гистохимическое определение рибонуклеиновой кислоты и гликогена в тканях животных, находящихся в различных физиологических состояниях	185
А. С. Ионтов. Топография клеток Гольджи и ее значение для межнейронных связей коры мозжечка	188
В. Е. Пигаревский. Некоторые особенности микроскопического строения дыхательных путей и легких африканского хорька	191
И. Б. Токин. Ультраструктура щеточной каемки кишечных клеток <i>Parascaris equorum</i>	902
Б. Б. Фукс. Гистохимия фосфомоноэстераз при регенерации и дегенерации нерва после повреждения	905
Э. Н. Попова. К вопросу о нейронном строении коркового конца зрительного анализатора белой крысы	1130
Е. А. Бабурина и Н. Д. Ковалева. Строение сетчатки глаза каспийских килек	1349
XXIII. ГЕНЕТИКА	
Н. А. Лебедева. Сравнительное изучение диплоидов и тетраплоидов <i>Solanum verrucosum</i> Schlecht	194
В. Ф. Любимова. О возникновении и наследовании некоторых новообразований у пшенично-пырейных гибридов	197
С. И. Алиханян, Ф. С. Клепикова, С. З. Миндлин, К. П. Гарина и Н. И. Жданова. Особенности индуцированного мутационного процесса у актиномицетов — продуцентов антибиотиков	643
Н. И. Николюкин и Г. В. Шпилевская. Возвратные гибриды стеряди и белуги в сравнении с исходными формами	646
Н. И. Нуждин и О. П. Домарева. Роль прямого и дистанционного действия рентгеновского облучения в ответной реакции организма	650
С. Ю. Гольдат и С. И. Алиханян. Влияние комбинированного действия ультрафиолетовых и рентгеновских лучей на мутационный процесс у <i>Streptomyces aureofaciens</i> ЛС Б16	1134
С. И. Алиханян и В. Г. Жданова. Влияние комбинированного воздействия физических и химических мутагенов на мутации в полигенных системах микроорганизмов (продуцента эритромицина <i>Actinomyces erythreus</i>)	1353
XXIV. ГИДРОБИОЛОГИЯ	
А. В. Монаков и Ю. И. Сорокин. Опыт изучения хищного питания циклопов с помощью изотопной методики	201
Л. А. Розенберг, И. Б. Улановский и Ю. М. Коровин. Влияние бактерий на коррозию нержавеющей сталей в узких зазорах	909
И. Б. Улановский, Н. И. Тарасов и Ю. М. Коровин. Влияние морских желудей на коррозию нержавеющей сталей	1137
Г. И. Горячева. О своеобразном альгологическом типе равнинной реки	1356
XXV. МИКРОБИОЛОГИЯ	
М. Н. Мейсель и Е. А. Кабанова. Люминесцентно-серологическое распознавание колоний бактерий кишечной группы	205
Е. П. Феофилова. О симбиозе молочнокислых бактерий с дрожжами в кефирных зернах	913
XXVI. БИОФИЗИКА	
Л. Г. Шахиджян, Д. Г. Флейшман, В. В. Глазунов, В. Г. Леонтьев и В. П. Нестеров. Измерение естественной радиоактивности в органах человека	208
И. М. Васильев и О. И. Парфенова. Изменение окислительно-восстановительного потенциала в ростках картофеля под влиянием рентгеновского облучения	401
Н. И. Нуждин и О. П. Домарева. Влияние рентгеновского облучения на митотическую активность роговицы	404
И. М. Шапиро и М. М. Константинова. О хромосомных aberrациях и митотической активности после воздействия ионизирующей радиацией в условиях защиты окисью углерода (к проблеме репарации лучевого повреждения)	654
Н. Н. Ротт. Действие колхицина на облученных зародышей вьюна <i>Misgurnus fossilis</i>	917
Ф. Б. Шапиро. Плодовитость самок мышей, подвергнутых гамма-облучению в период эмбрионального развития, и жизнеспособность их потомства	921
Н. Ф. Баракина. О механизме деструкции клеток в кроветворных органах млекопитающих под влиянием ионизирующей радиации	1141
XXVII. БИОХИМИЯ	
В. Л. Кретович и В. И. Яковлева. Биосинтез глютаминовой кислоты и глютамина в созревающем колосе пшеницы	210
Б. А. Рубин и Т. М. Иванова. О системе полифенолы—полифенолоксидаза в капусте	213
С. М. Стрепков. Исследование гликофруктозанов стеблей <i>Helianthus tuberosus</i> L.	216
В. И. Мазуров и В. Н. Орехович. Включение радиоактивного глицина в α - и β -компоненты проколлагена	408
Н. М. Эмануэль, Л. П. Липчина и И. И. Пелевина. Избирательное уменьшение содержания РНК в опухолевых клетках и потеря ими способности прививаться при возде-	

ствии <i>in vitro</i> ингибиторов цепных реакций	411	гетероауксином на рост и обмен веществ расады томатов	411
А. С. Спирин, Л. П. Гаврилова и А. Н. Белозерский. К вопросу о макромолекулярной структуре нативной высокополимерной рибонуклеиновой кислоты в растворе	658	Г. Б. Ермилов. О водном режиме проростков в первые дни их жизни	422
Б. Н. Степаненко и Л. Н. Боброва. К сравнительному изучению действия ZSC, УТФ, УДФ и АТФ на сокращение сердечной мышцы	662	К. С. Миролубов. Влияние радиоактивных веществ на растения ячменя в зависимости от прохождения стадий развития при укороченном дне	677
М. А. Тер-Карапетян и А. М. Оганджян. Растворимые аминокислоты и белки содержимого рубца и сычуга жвачных животных	666	А. П. Виноградов, В. М. Кутюрин, М. В. Улубекова и И. К. Задорожный. Изотопный состав кислорода фотосинтеза	115
Д. М. Михлин и А. А. Мутускин. Немитохондриальное окисление восстановленного дифосфопиридин-нуклеотида в корне растения	925	Ф. Л. Калинин. Периодичность окислительно-восстановительного режима формирующегося зародыша растений	1154
Е. Л. Розенфельд, А. А. Познанская и Н. К. Рудакова. Изучение состава и свойств зимозана	928	А. Ф. Клешнин и И. А. Шульгин. Об оптических свойствах листьев растений	1155
Р. А. Рутберг. Получение и свойства полисахарида зимозана, активного в отношении пропердиновой системы	931	Л. И. Сергеев, К. А. Сергеева и В. К. Мельников. Изoeлектрическая точка протоплазмы и особенности физиологического состояния генеративных почек древесных растений	1162
С. О. Урысон и А. Н. Белозерский. Нуклеотидный состав дезоксирибонуклеиновых и рибонуклеиновых кислот некоторых высших растений	1144	К. Д. Стоев, П. Т. Мамаров и И. Б. Бенчев. Влияние удобрений на состав восходящего тока виноградной лозы	1363
Н. М. Эмануэль и Л. П. Липчина. Потеря blastomagenных свойств вируса саркомы Роуса при воздействии пропилгаллата	1148	И. А. Шульгин и А. Ф. Клешнин. О корреляции между оптическими свойствами и содержанием хлорофилла в листьях растений	1371
М. Н. Запрометов. О способности к расщеплению бензольного кольца у высших растений. Глубокое окисление C ¹⁴ -катехинов в побегах чая	1359		

XXXII. ЗООЛОГИЯ

Н. Н. Воронцов и Н. Н. Гуртовой. Строение среднебрюшной железы настоящих хомяков (<i>Criceti — Cricetinae — Rodentia — Mammalia</i>)	67
М. И. Константинова. Движение пелагических личинок <i>Heteromastus filiformis</i> Clap. (<i>Polychaeta</i>)	677
В. М. Эпштейн. О систематическом положении, образе жизни и происхождении эндемичной байкальской пиявки <i>Trachelordella torquata</i> (Grube)	933

XXXIII. АНАТОМИЯ

Э. Э. Кикайон. Экспериментальное исследование значения местных препятствий для кровотока в развитии атеросклеротических изменений артерий	681
---	-----

XXVIII. МОРФОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. Н. Сладков. О морфологических признаках спор настоящих папоротников подсемейства <i>Pterideae</i> Diels флоры СССР	219
А. Н. Сладков. О морфологическом сходстве и различии спор видов <i>Cryptogramma</i> R. Br и <i>Botrychium</i> Sw. флоры СССР	414

XXIX. ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. Г. Карпов. Конкуренция за питательные вещества и возобновительные процессы в насаждениях степной зоны	1363
--	------

XXX. ЭМБРИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. А. Поддубная-Арнольди. Культура семяночек некоторых орхидей на искусственной питательной среде	223
---	-----

XXXI. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Г. В. Баринов. Сравнительная скорость поступления R ³² и Ca ⁴⁵ и их подвижность в растении при внекорневой подкормке	227
Р. А. Андреева и И. В. Морозова. Влияние обработки корневой системы	

XXXIV. МОРФОЛОГИЯ

Е. Н. Шершенева. Развитие червеобразного отростка и его иннервации	424
--	-----

XXXV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Г. В. Елякова. Развитие коры больших полушарий у морской свинки в условиях гипотиреоза	229
Г. М. Литвер и Н. Н. Дампель. К вопросу о восстановлении целых мускулов из пересаженной измельчен-	

ной мышечной ткани при их тотальном удалении у крысы	232	жений при исследовании высшей нервной деятельности ребенка . .	450
Н. Н. Зайко и В. В. Войно-Ясенецкий. Особенности развития нейрорепаративного кератита при денервации части роговицы	428	А. Д. Ноздрачев. О действии серотонина на нервную систему	454
А. А. Нейфах и Н. Н. Ротт. Синхронизация клеточных делений у ранних зародышей вьюна <i>Misgurnus fossilis</i> путем воздействия пониженной температуры	432	Е. Б. Бабский и В. Л. Карпман. Об анализе фаз сердечного сокращения по данным динамокардиографии . . .	1166
О. Н. Румянцев. Развитие измельченной мышечной ткани в пересадках под кожу	435	К. М. Куланда. Анализ биоэлектрических потенциалов, возникающих в коре мозжечка при стимуляции некоторых афферентных нервов . .	1378
Н. В. Дабагян. Регуляционные свойства глаза зародышей осетровых рыб	938	XXXVIII. ЭМБРИОЛОГИЯ	
А. А. Костомарова. Развитие кишечника культурного карпа при кормлении и голодании на этапе смешанного питания	941	Е. Х. Приймак и Н. А. Смиттен. К вопросу об источниках развития каротидного тела	457
М. Ф. Никитенко. Сравнительная характеристика размеров и строения головного мозга у некоторых видов воробьиных	945	О. Г. Строева. Митохондрии в развитии хрусталика глаза	461
XXXVI. ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ		В. Ф. Пучков. Эквивалентные возрасты в эмбриогенезе цыпленка, крысы и человека	684
Н. И. Драгомиров. Развитие системы нейроэпителиальных фолликулов у личинок аральского шипа <i>Asipenser nuditentis</i> Lov.	1374	П. Н. Резниченко и Ю. Г. Юровицкий. Эктодермальные реснички зародышей, личинок и мальков куриного осетра и их физиологическое значение	949
XXXVII. ФИЗИОЛОГИЯ		Г. А. Бузников. Влияние яйцевых оболочек на развитие эмбрионов вьюна	1170
А. М. Алексанян и Р. С. Арутюнян. Влияние симпатического нерва на электрическую активность головного мозга	236	Г. А. Бузников. О функциональном значении гиалуронидазы в икре костистых рыб	1382
С. Д. Амром. Объективное установление типологических особенностей высшей нервной деятельности у человека	439	XXXIX. ПАРАЗИТОЛОГИЯ	
В. Н. Беляева. Дыхание сазана <i>Surginus sagrio</i> L. на ранних этапах развития	443	А. В. Гусев, Е. В. Жуков и Ю. А. Стрелков. О зараженности мнятая паразитами и его промысловом использовании	1174
Л. С. Гамбарян. Двигательные реакции при повреждении мозжечка и задних столбов спинного мозга . .	446	Т. А. Беднякова и В. Н. Верейская. Анализ термического обеззараживания яиц в изолированных кладках бабочек тутового шелкопряда (<i>Bombyx mori</i> L.), зараженных пембриной (<i>Nosema bombycis</i> Naeg.)	1386
З. В. Денисова. О взаимодействии следовых и непосредственных раздра-		Е. Д. Логачев. О строении и тканевой природе кутикулярных покровов цистицерков	1390

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ*

- Аббасова С. М. XVI, 1110
 Аблеков В. К. VI, 297
 Абрамов В. С. IX, 1027
 Авербух Б. Г. I, 11
 Агеев В. Н. IX, 87
 Айзенберг Л. А. I, 959
 Алания В. П. IX, 104, 829, 1048
 Алексанян А. М. XXXVII, 236
 Алиев С. М. IX, 566
 Алиханян С. И. XXIII, 643, 1134, 1353
 Альперин М. М. I, 1183
 Амирханов Х. И. XVIII, 1345
 Амром С. Д. XXXVII, 439
 Андреева Р. А. XXXI, 417
 Аникина Г. Н. IX, 341
 Аракелян Н. У. I, 695
 Аржаных И. С. V, 1215
 Арутюнян Р. С. XXXVII, 236
 Архангельский А. И. XIII, 369
 Архипов А. М. XI, 359
 Арынов А. III, 512
 Ахизер А. Н. VI, 300
 Бабиевский К. К. IX, 560
 Бабский Е. Б. XXXVII, 1166
 Бабурина Е. А. XXII, 1349
 Бакаев В. А. X, 831
 Бакакин В. В. XV, 383
 Баракина Н. Ф. XXVI, 1141
 Баринов Г. В. XXXI, 227
 Бартницкий Е. Н. XVIII, 1345
 Бархатов Б. П. XIII, 1303
 Беднякова Т. А. XXXIX, 1386
 Безбородова И. В. XIII, 876
 Белавцева Е. М. VI, 1005
 Белов Н. В. XV, 383; XVIII, 888
 Белозерский А. Н. XXVII, 658, 1144
 Бельский И. Ф. IX, 345, 1051
 Беляева В. Н. XXXVII, 443
 Беляева В. Н. XXI, 632
 Бенчев И. Б. XXXI, 1367
 Берг Л. Г. IX, 75
 Береговский А. С. X, 1292
 Березин Ф. А. I, 1187
 Бирман М. Ш. I, 471
 Боброва Л. Н. XXVII, 662
 Бовшеверов В. М. VII, 1242
 Боголюбов Л. И. XIII, 372
 Боднер В. А. II, 986
 Болховитинов Л. Г. X, 570
 Бондаренко А. В. X, 573
 Боом Е. А. IX, 323
 Борисенко Л. Ф. XIII, 608
 Борисов В. Т. VIII, 786
 Боровский И. Б. X, 835
 Ботвинкина Л. Н. XIII, 155
 Бочкарева Г. П. IX, 1265
 Брандт С. Б. XVIII, 1345
 Брауде С. Я. VIII, 1019
 Бузников Г. А. XXXVIII, 1170, 1382
 Буйко Г. Н. XI, 366
 Бурцева И. К. X, 1285
 Бурцева Т. А. IX, 811
 Буряк Е. М. VI, 1011
 Былына Э. А. IX, 814; X, 133, 814
 Вагина Г. П. XV, 884
 Вайнштейн Э. Е. VI, 55
 Вайсер В. Л. IX, 547, 799
 Вакулов П. В. VI, 304
 Ванаг Г. Я. IX, 549, 801
 Васильев Г. Я. VI, 1219
 Васильев И. М. XXVI, 401
 Васильев Р. Ф. X, 106
 Васильева В. Н. IX, 562
 Веденева В. В. X, 591
 Веденов Г. А. VI, 757
 Ведерникова Г. А. XIII, 601
 Верейская В. Н. XXXIX, 1386
 Вернов С. Н. VI, 304
 Ветер В. В. VI, 526
 Виденский В. С. I, 15
 Визгерт Р. В. IX, 1257
 Вилсов Ф. И. X, 1053
 Вильчевская В. Д. IX, 1037
 Виноградов А. П. XXXI, 1151
 Виноградов Г. В. X, 1061
 Винокуров В. Г. IX, 89
 Вистелиус А. Б. XIII, 1307
 Вишик М. И. I, 247
 Войно-Ясенецкий В. В. XXXV, 428
 Волкенштейн Н. В. VI, 530
 Волчкова Л. М. X, 1285
 Волькенштейн М. В. VI, 523
 Вольмир А. С. IV, 1002
 Воробьев Ю. В., VIII, 315
 Воронков М. Г. IX, 553
 Воронцов Н. Н. XXXI, 673
 Вульфсон К. С. VI, 1223
 Гаврилова Л. П. XXVII, 658
 Гавриш В. К. XIII, 158
 Гамбарян Л. С. XXXVII, 446
 Гамкрелидзе Р. В. I, 475
 Ганиченко Л. Г. X, 1277
 Гарина К. П. XXIII, 643
 Герасимов И. С. II, 989
 Гладкий А. В. I, 963
 Глазунов В. Н. XXVI, 208
 Глаускин Л. М. I, 699
 Голиков В. М. VIII, 786
 Головина Н. В. XXI, 636
 Голод Е. I, 703
 Гольдат С. Ю. XXIII, 1134
 Гольденгершель Э. И. I, 19
 Гоник В. К. IX, 803
 Горбанев А. И. X, 1281
 Горбач В. И. VIII, 1019
 Горбунова Л. И. XVI, 1333
 Горелик А. Г. VI, 59
 Горин Ю. А. IX, 79
 Горлова Р. Н. XX, 393
 Гороховатский Я. Б. IX, 83
 Горячева Г. И. XXIV, 1356
 Готтих Б. П. IX, 89
 Гофштейн И. Д. XVI, 386
 Го Ци-ди VI, 761
 Грановский Я. И. VI, 1225
 Грачевский М. М. XIII, 1311
 Грецов В. К. III, 746
 Григорьев А. И. IX, 557
 Гришина О. Н. IX, 803
 Громаков С. Д. IX, 75
 Губин Г. Д. XXII, 185
 Гудзенко Л. И. VI, 62
 Гурвич А. С. VII, 1242
 Гуртовой Н. Н. XXXII, 673
 Гурьянова Е. Н. IX, 562
 Гусаров Л. А. I, 966
 Гусев А. В. XXXIX, 1174
 Гутман А. VIII, 1252
 Дабагян Н. В. XXXV, 938
 Давыдова В. М. IX, 553
 Дампель Н. Н. XXXV, 232
 Даукер К. Х. I, 1190
 Девятова Э. И. XIII, 162
 Делинская Е. Д. IX, 348
 Денисов Ю. Н. X, 110
 Денисова З. В. XXXVII, 450
 Джрбашян М. М. I, 707
 Дзвеляя М. Ф. XIII, 604
 Дзыкович И. Я. X, 354
 Долгов Б. Н. IX, 817
 Долгопосок Б. А. XI, 1073
 Долженко Е. П. I, 970
 Долин П. И. X, 1298
 Домарева О. П. XXVI, 404, 650
 Дорфман Я. Г. VI, 765
 Драгомиров Н. И. XXXVI, 1374
 Думпис Т. Т. IX, 549
 Дяткина М. Е. IX, 1030
 Елистратов А. М. VIII, 538
 Елякова Г. В. XXXV, 229
 Ержанова М. С. IX, 101
 Ермилов Г. Б. XXXI, 420
 Ермолова Е. П. XIII, 1097
 Жаворонков Н. М. X, 580
 Жарков В. Н. VII, 771
 Жданова В. Г. XXIII, 1353
 Жданова Н. И. XXIII, 643
 Женодарова С. М. IX, 93

* Первое число после фамилии и инициалов автора обозначает номер раздела по систематическому указателю, второе — страницу.

Жузе А. П. XIX, 891
Жуков Е. В. XXXIX, 1174

Задорожный И. К. XXXI, 1151
Зайко Н. Н. XXXV, 428
Зайцева В. Д. X, 1057
Зансохова А. А. X, 577, 838
Запрометов М. Н. XXVII, 1359

Зельдович Я. Б. X, 1292
Зороачка И. В. IX, 75
Зхус И. Д. XV, 884

Ибрагимов И. А. I, 711
Иванов В. В. XIII, 608
Иванова Е. А. XIII, 611
Иванова Т. М. XXVII, 213
Ивановский А. Б. XIII, 614;
XX, 895

Игнатович Т. Н. IX, 807
Изюмов Ю. Н. VI, 1227
Ильина Н. А. IX, 1027
Ильина Н. С. XIII, 379
Ионтов А. С. XXII, 188
Иорданский С. В. III, 1211
Иофа З. А. X, 1065
Исаева Л. С. IX, 330, 1265

Кабалкина С. С. X, 114
Кабанов В. А. X, 118
Кабанова Е. А. XXV, 205
Кабачник М. И. IX, 1260
Казицына Л. А. IX, 807, 1037
Каландия А. И. I, 715
Калинин Ф. Л. XXXI, 1154
Каллистратова М. А. VII, 69
Камаджиев П. Р. VIII, 538
Канаев В. Ф. XIX, 1115
Капилевич М. Б. I, 23, 251, 179

Карасик М. А. XIII, 1351
Караханов Р. А. IX, 1051
Каргаполов М. И., I, 255
Карпман В. Л. XXXVII, 1166

Карпов А. П. XIII, 859
Карпов В. Г. XXIX, 1363
Карпунин О. Н. X, 106
Касаточкин В. И. XI, 852
Кац Г. И. I, 27
Кесслер Ю. М. X, 1281
Кикайон Э. Э. XXXIII, 681

Кикоин И. К. VI, 1011
Ким Е. И. I, 723
Киренский Л. В. VI, 526
Кириянов А. К. XI, 147
Киселев В. Ф. X, 831, 1277
Киселева Т. М. IX, 1263
Кислинский А. Н. IX, 341
Кишкина З. М. I, 262
Клейменова В. М. IX, 1272
Клейнер Ю. М. XIII, 376
Клепиков Ф. С. XXIII, 643
Клешнин А. Ф. XXXI, 1158, 1371

Климова В. А. X, 351
Ковалев А. И. XI, 856
Ковалева Н. Д. XXII, 1349
Коган В. Д. XVI, 1103
Козин В. И. VI, 1007

Козлов П. В. X, 118
Коломиец Б. Т. VIII, 73
Коломыцев П. Т. IX, 325
Комар А. П. VI, 530
Кондратьев Б. В. VIII, 794
Кондратьев В. А. I, 479
Константинова М. И. XXVI, 654; XXXII, 677
Копецкий Я. В. IX, 87
Кордэ К. Б. XX, 625
Кормер В. А. IX, 1041
Корнейчук Н. П. I, 258
Корнилов И. И. IX, 325
Коробов Н. М. I, 1193
Коровин Ю. М. XXIV, 909
Королев Л. Н. I, 482
Корсакова И. С. IX, 560
Корценштейн В. Н. XIV, 173
Костарев В. В. VI, 59
Костомарова А. А. XXXV, 941

Котляр Б. И. VI, 55
Котон М. М. IX, 1263
Коутецкий Ярослав X, 841
Кочетков Н. К. IX, 89, 327
Кочешков К. А. IX, 348, 562
Красильников К. Г. X, 831, 1277

Красильщиков А. И. X, 1285
Крейн М. Г. I, 31
Крейнес М. А. I, 262
Кретович В. Л. XXVII, 210
Крылов Н. А. XIII, 862, 1319
Кужель В. А. I, 35
Кузмак Г. Е. II, 992
Кузьминов В. I, 727
Кузьминский А. С. X, 1057
Кулаков В. Н. IX, 327
Кулакова М. Н. XI, 1073
Кулиев А. А. X, 122
Куликов М. В. XIII, 1081
Кулланда К. М. XXXVII, 1378

Куман В. Е. XV, 1100
Куплетская Н. Б. IX, 807
Куртепов М. М. X, 1288
Кусков В. К. IX, 811
Кутюрин В. М. XXXI, 1151
Кущенок Б. Е. XI, 1073

Лаврухина А. К. VI, 532
Лазуркин Ю. С. VI, 1007, 1219
Лашко А. С. X, 126
Лебедев Н. А. I, 730
Лебедева Н. А. XXIII, 194
Лежнев Н. Н. X, 1057
Леонтьев В. Г. XXVI, 208
Летавин А. И. XIII, 862, 1319
Ливартовский И. В. I, 733
Ливчак Я. Б. I, 266
Лидский В. Б. I, 485
Лизунов Н. В. XIII, 608
Липина О. А. XIII, 1148, 1323
Липчина Л. П. XXVII, 411
Литвер Г. М. XXXV, 232
Литвинков С. С. III, 998
Лобанова В. В. XVI, 1106
Ловачев Л. А. X, 129
Логачев Е. Д. XXXIX, 1390
Логачев Ю. И. VI, 304

Логвиненко Н. В. XVII, 389
Локшин Б. В. IX, 1037
Лосев Б. И. IX. X, 133, 814;
Лукевич Э. Я. IX, 801
Любимова В. Ф. XXIV, 197
Любитов Ю. М. X, 135
Люстерник Л. А. I, 247
Лямшев Л. М. VI, 1231
Лященко А. И. XIII, 616

Мазель И. С. IX, 1048
Мазитова Ф. Н. IX, 1033
Мазуров В. И. XXVII, 408
Майрановский С. Г. X, 351
Малахов Л. Н. VIII, 315
Маловицкий Я. П. XIII, 1319

Мальцов К. А. XI, 359
Малышева Т. Я. XI, 363
Мамаров П. Т. XXXI, 1367
Мамедалиев Г. М. IX, 341, 566
Мамонтова Т. Н. VII, 73
Манин Ю. И. I, 488
Марков А. А. VI, 1219
Мартыанов Н. Н. XVI, 1337
Марчукова И. Д. X, 835
Маслов В. П. XIII, 1085
Матвеев К. И. X, 580
Машинова Л. Г. X, 1294
Медведев С. С. X, 1301
Мейман Н. Н. I, 974
Мейсель М. Н. XXV, 205
Мелихов И. В. X, 845
Мельников В. К. XXXI, 1162

Мень А. В. XIII, 1019
Меркулова М. С. X, 845
Метельцева Е. М. XX, 393
Миклухо-Маклай А. Д. XX, 628

Миклухо-Маклай А. Д. XIII, 1303

Миндлин С. З. XXIII, 643
Минеев В. Е. IV, 1002
Минц Р. М. I, 38
Миролюбов Е. Н. X, 1288
Миролюбов К. С. XXXI, 670
Ми Тие-ин X, 1069
Михлин Д. М. XXVII, 925
Михлин С. Г. I, 737
Мкртчян О. М. XIII, 1323
Мовчан Б. А. X, 354
Мокульский М. А. VI, 1007
Монаков А. В. XXIV, 201
Монин А. С. III, 515
Морозова В. Г. XIII, 166
Морозова Е. А. IX, 93
Морозова И. В. XXXI, 417
Муромкин Ю. А. VI, 1011
Мутускин А. А. XXVII, 925

Нагибина М. С. XIII 1090
Наймарк М. А. I, 1196
Наумов А. Г. XIX, 621
Недосеева А. К. XX, 393
Нейфах А. А. XXXV, 432
Непрочнов Ю. П. XIX, 1119
Несмеянов А. Н. IX, 97, 330, 1037, 1365
Нестеров В. П. XXVI, 208
Никитенко М. Ф. XXXV, 945
Николюкин Н. И. XXIII, 646

Никонов А. А. XIII, 866
Нифантьев Э. Е. IX, 327
Новиков С. С. IX, 560; X, 351
Новожилова С. И. XIII, 616
Новоселова А. В. IX, 557
Ноздрачев А. Д. XXXVII, 454

Нудельман А. А. I, 740
Нуждин Н. И. XXIII, 650; XXVI, 404

Обухов А. М. VII, 1246
Овсянников Л. В. I, 492
Овчаров В. Е. II, 986
Оганджян А. М. XXVII, 666

Окунев А. И. XI, 147
Олевский А. М. I, 269
Орехов В. Д. X, 577, 838
Орехович В. Н. XXVII, 408
Орлов В. Ф. IX, 817
Орлова Н. А. XIII, 1097
Остроумова А. К. IX, 799
Оше Е. К. X, 139

Павлов В. П. X, 1061
Падерно Ю. Б. VIII, 317
Палеева И. Е. IX, 348
Пантелеева А. К. IX, 79
Пап А. М. XVI, 1341
Парадоксова И. А. I, 496
Парибок В. А. IX, 1263
Парфенова О. И. XXVI, 401
Паушкин Я. М. IX, 1033
Пелевина И. И. XXVII, 411

Петров А. А. IX, 1041
Петров Г. Г. XI, 852
Печковская З. Б. XI, 852
Пигаревский В. Е. XXII, 191

Пирогов А. А. XI, 856
Плаксин И. Н. XI, 599
Плиев Т. Н. IX, 1044
Плотников Ю. Н. IX, 1272
Плющев В. Е. IX, 334
Плясунов В. Д. X, 1285
Поваров Ю. М. X, 1281
Поддубная-Арнольди В. А. XXX, 223

Подклетнов Н. Е. IX, 821
Познанская А. А. XXVII, 928

Покровская Г. Л. XXI, 632
Покровская Е. С. IX, 1269, 1275

Полак Л. С. X, 584
Полстянко Л. Л. IX, 807
Полтавцева Л. И. IX, 104
Полянский В. М. X, 135
Пономарчук М. П. IX, 1257
Попова Э. Н. XXII, 1130
Порай-Кошиц М. А. IX, 1030

Портной К. И. IX, 823
Праведников А. Н. X, 1301
Приймак Е. X. XXXVIII, 457

Проскурнин М. А. X, 577
Прохоренко В. К. X, 356

XIV

Птицына О. А. IX, 1265
Пшеная-Северин С. В. VII, 775

Пудовик А. Н. IX, 826
Пучков В. Ф. XXXVIII, 684

Разумова Е. Ф. I, 978
Раковский Э. Е. VI, 532
Расулов М. Л. I, 42, 273
Ратнер Б. С. VI, 761
Ревина Л. Д. VI, 532
Резанов И. А. XIII, 870
Резниченко П. Н. XXXVIII, 949

Реутов О. А. IX, 1265
Рехлицкий З. И. I, 46
Решетняк Н. Д. XVI, 170
Ривин М. А. X, 1292
Рипун М. Б., XVI, 386
Родионов А. Н. IX, 562
Роев Л. М. X, 588
Розанов Ю. А. I, 277
Розенберг Л. А. XXIV, 909
Розенфельд Е. А. XXVII, 928

Розенфельд И. Л. X, 139
Розловский И. А. X, 122
Романько Е. Ф. XIII, 1303
Роскин Г. И. XXI, 639
Ротт Н. Н. XXVI, 917; XXXV, 432

Рубаник М. Я. IX, 83
Рубин Б. А. XXVII, 213
Рубинштейн Р. Н. VIII, 542

Рудакова Н. К. XXVII, 928
Руднева А. В. XI, 149, 363
Румянцева О. Н. XXXV, 435
Рутберг Р. А. XXVII, 931
Рыбинская М. И. IX, 97
Рыкалин Н. Н. V, 519
Рябов В. Д. IX, 547, 799

Савицкий Е. М. IX, 87
Савостьянова М. В. X, 1254
Савчук Е. К. IX, 1257
Самойлов О. Я. X, 356
Самсонов Г. В. IX, 823
Самсонов Г. В. VIII, 317; X, 591

Самсонов С. К. XIII, 873
Саночкин Ю. В. VI, 308
Сарычева Т. Г. XX, 181
Саульев В. К. I, 48
Саянов В. С. XIII, 1093
Севастьянов Э. С. X, 1281
Селезнев В. П. II, 986
Селезнева А. А. X, 591

Семененко К. Н. IX, 557
Сергеев Л. И. XXXI, 1162
Сергеева К. А. XXXI, 1162
Сергин Б. И. IX, 147
Сергиенко А. А. III, 746
Серебрякова Т. И. VIII, 317
Серебряный Р. В. IV, 752
Серова Г. Ф. X, 595

Симанов Ю. П. IX, 334
Симонов В. И. XVIII, 888
Синай Я. I, 1200

Синицын В. М. XIII, 1326
Ситдикова Ф. Н. IX, 826

Сладков А. Н. XXVIII, 219, 414

Смирнов А. И. XVIII, 177
Смиттен Н. А. XXXVIII, 457

Смуткина З. С. XI, 852
Соколов И. Б. XI, 359
Соколова С. Г. IX, 79
Сокольская А. Н. XX, 181
Сокольский Д. В. IX, 101
Солонникова Л. А. IX, 823
Сорокин Ю. И. XXIV, 201
Софьина В. В. X, 1292
Спирин А. С. XXVII, 658
Старицкий П. Г. XI, 359
Степаненко Б. Н. XXVII, 662

Степанов И. Н. XII, 153
Стоев К. Д. XXXI, 1367
Страхов Н. М. XVII, 389
Стрелков Ю. А. XXXIX, 1174

Стрепков С. М. XXVII, 216
Строева О. Г. XXXVIII, 461
Струве М. Е. XXI, 639
Струнин Б. М. VIII, 790
Сударников Ю. А. XIII, 166
Сукачев В. Н. XX, 393
Сысоев В. А. XX, 397, 1123
Сыроечковский Е. Е. XIX, 1077

Таиров Э. З. XIII, 1303
Талалаева М. В. IX, 562
Тарасов Н. И. XXIV, 1137
Тейтельбаум Б. Я. IX, 337
Темкин А. Я. X, 584
Теренин А. Н. X, 588, 1053
Терентьев А. П. IX, 807
Тер-Карапегян М. А. XXVI, 666

Тза Чюан-синь X, 1065
Тимофеев Г. И. XIII, 379
Ти офева Е. А. IX, 1272
Тинякова Е. И. XI, 1073
Тарский Г. А. V, 293
Тихвинский И. Н. XIII, 618
Тихонов А. Н. I, 982
Токин И. Б. XXII, 902, 1126

Толстая Т. П. IX, 330, 1265
Томашов Н. Д. X, 1288
Топчиев А. В. IX, 104, 341, 566, 829, 1048, 1275
Трешин Я. К. X, 110
Троянская М. А. X, 133
Турчинский М. Ф. IX, 1265
Турьян Я. И. X, 595
Тяпкин К. Ф. VII, 1249

Уваров В. Б. I, 281
Уваров О. В. X, 580
Улановский И. Б. XXIV, 909, 1137
Улубекова М. В. XXXI, 1151
Урысон С. О. XXVII, 1144
Усатый А. Ф. VI, 1219

Фабелинский И. Л. VI, 297
Файнзильберг А. А. X, 351

- Редоров Г. Р. VI, 530
 Редорова Н. И. VII, 535
 Рельзенбаум А. И. VII, 779
 Ренье Иштван, I, 51
 Теофилова Е. П. XXV, 913
 Ривейский М. Б. VI, 1007
 Рильчаков П. Ф. VIII, 1023
 Рингерланд Антонин X, 841
 Ристуль В. И. V. II, 542
 Ришер И. З. X, 356
 Рлейшман Д. Г. XXV, 208
 Ррадкин Е. С. VI, 311, 566
 Рролова А. А. X, 118
 Рукс Б. Б. XXII, 905
 Рукс Д. Б. I, 285
 Шапиро Г. А. VI, 55
 Шапиро И. М. XXVI, 654
 Шапиро Ф. Б. XXVI, 921
 Шафеев Р. Ш. XI, 599
 Шахиджанян Л. Г. XXVI, 208
 Шахно И. В. IX, 334
 Шварц А. Г. XI, 366
 Шварц А. С. I, 285
 Шевердина Н. И. IX, 348
 Шершенева Е. Н. XXXIV, 424
 Шестопалов В. П. VIII, 794
 Шефтель З. Г. I, 289
 Шехтман В. Ш. IX, 87
 Шигорин Д. Н. IX, 562
 Шиманов С. Н. I, 1203
 Шишкина М. В. IX, 341, 1269
 Шляпинтох В. Я. X, 106
 Шпилевская Г. Е. XXIII, 646
 Шубин В. Н. X, 1298
 Шуйкин Н. И. IX, 345, 1051, 1272
 Шульгин А. А. VI, 767
 Шульгин И. А. XXXI, 1158, 1371
 Шуркин К. А. XIII, 1329
 Шеглов А. Д. XIII, 880
 Щербединский Г. В. VIII, 786
 Эвальд Г. X, 845
 Эйдельман С. Д. I, 743
 Эйдуз Д. М. I, 508
 Эмануэль Н. М. XXVII, 411, 1148
 Эпштейн В. М. XXXII, 935
 Юркина А. К. XXII, 185
 Юрвицкий Ю. Г. XXXVIII, 949
 Юрьев В. М. X, 1301
 Яковлева В. И. XXXVII, 210
 Яненко Н. Н. I, 1207

